



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
Πολυτεχνική Σχολή
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
Εργαστήριο Υδρολογίας και Ανάλυσης Υδατικών Συστημάτων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

ΑΕΙΦΟΡΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΜΕΣΩ ΥΔΡΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΑΡΛΑΣ

Αγγελή Αθηνά, Καρκάνη Ελένη

Επιβλέπων Καθηγητής : Δρ. Νικήτας Μυλόπουλος

Βόλος, Οκτώβριος 2019



UNIVERSITY OF THESSALY
Polytechnic School
Department of Civil Engineering
Laboratory of Hydrology and Aquatic Systems Analysis

DIPLOMA THESIS:

**SUSTAINABLE WATER RESOURCES
MANAGEMENT THROUGH HYDRO-ECONOMIC
AND WATER QUALITY MODELING:
APPLICATION TO LAKE KARLA WATERSHED**

Angeli Athina, Karkani Eleni

Supervisor: Prof. Nikitas Mylopoulos

Volos, October 2019

© 2019 Αγγελή Αθηνά, Καρκάνη Ελένη

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον επιβλέποντα καθηγητή μας κ. Μυλόπουλο Νικήτα, Καθηγητή του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την έμπνευση μέσω του μαθήματος Εγγειοβελτιωτικά Έργα που αποτέλεσε έναυσμα για την παρούσα διπλωματική εργασία, καθώς και για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε κατά την εκπόνησή της.

Θα θέλαμε επίσης να ευχαριστήσουμε τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς επιτροπής, κ. Βασιλειάδη Λάμπρο και κ. Σπηλιωτόπουλο Μάριο, για τη συμβολή τους.

Από την αρχή μέχρι και το τέλος, ο Διδάκτωρ Αλαμάνος Άγγελος, υπήρξε κινητήρια δύναμη για την καλύτερη εκδοχή της παρούσας εργασίας. Του οφείλουμε ένα μεγάλο ευχαριστώ, για την άμεση ανταπόκριση, τη διαρκή καθοδήγηση, την παρότρυνσή του για συνεχή εξέλιξη καθώς και για την ψυχολογική στήριξή μας, καθ' όλη τη διάρκεια της προσπάθειάς μας.

Ευχαριστώ από τα βάθη της καρδιάς μου, τη μητέρα μου Στέλλα Αγγελή και τον πατέρα μου Σπύρο Αγγελή, που δίχως αυτούς δεν θα ήμουν σήμερα εδώ, για την υποστήριξή τους και την αμέριστη αγάπη τους, όλα αυτά τα χρόνια. Ευχαριστώ επίσης ολόψυχα, την αδερφή μου Άννα Μαρία Αγγελή, που ήταν πάντοτε κοντά μου, υποστηρικτική όλα αυτά τα χρόνια. Ένα μεγάλο ευχαριστώ και ως προς τους τρεις, καθώς αποτέλεσαν τη δύναμή μου. Ακόμη ευχαριστώ, τον φίλο μου και υποψήφιο διδάκτορα πλέον, Νίκο Νασικά, για την υποστήριξή του, τις πολύτιμες συμβουλές του και την παρουσία του καθ' όλη τη διάρκεια της προσπάθειάς μου. Τέλος, δεν θα μπορούσα να μην ευχαριστήσω την φίλη μου και συνάδελφο μου, Ελένη Καρκάνη, για τη διαρκή αλληλοϋποστήριξη και για την εξαιρετική συνεργασία μας σε όλο το πανεπιστήμιο. Γι' αυτό το λόγο αφιερώνω την παρούσα διπλωματική σε εκείνη, και της εύχομαι καλή σταδιοδρομία, επιτυχίες και ταξίδια.

Αγγελή Αθηνά

Ευχαριστώ ολόψυχα την οικογένειά μου -τη μητέρα μου Δήμητρα και την αδερφή μου Σπυριδούλα- για τη συνεχή και ένθερμη υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια, μιας και ήταν πάντοτε εκεί, ως η κινητήρια δύναμή μου. Ακόμη, τον πατέρα μου Παναγιώτη για τις συμβουλές και την καθοδήγησή του όσον αφορά τη σχολή, καθ' όλη τη διάρκεια της φοίτησής μου. Δεν θα μπορούσα να παραλείψω, την ψυχολογική στήριξη της γιαγιάς μου Σπυριδούλας και θείας μου Μαρίας όλον αυτόν τον καιρό. Κλείνοντας, ένα μεγάλο ευχαριστώ αξίζει για την φίλη και συνάδελφο πλέον Αθηνά, που από την αρχή της φοίτησης μέχρι και σήμερα είναι κοντά μου, τόσο υποστηρικτικά όσο και συμβουλευτικά, και έτσι μαζί καταφέραμε να διεκπεραιώσουμε την παρούσα διπλωματική. Έτσι λοιπόν από πλευράς μου, αφιερώνω αυτή τη διπλωματική σε εκείνη και εύχομαι καλή σταδιοδρομία και επιτυχίες σε ό,τι και αν ξεκινήσει.

Καρκάνη Ελένη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η σύγχρονη Διαχείριση Υδατικών Πόρων βρίσκεται αντιμέτωπη με προβλήματα είτε ποιοτικής και φυσικής λειψυδρίας είτε οικονομικής φύσεως. Η παρούσα εργασία επιχειρεί να αντικατοπτρίσει αυτή την κατάσταση σε μια περιοχή που στηρίζεται στην αγροτική οικονομία, λαμβάνοντας υπόψη υδρολογικές και οικονομικές παραμέτρους, την ποιοτική κατάσταση των υδάτων, καθώς και μια σειρά διαχειριστικών πολιτικών. Ως περιοχή μελέτης, επιλέχθηκε η γεωργική λεκάνη απορροής της λίμνης Κάρλας, που υπήρξε μια από τις μεγαλύτερες και οικολογικά σημαντικότερες λίμνες της Ελλάδας. Το γεγονός ότι η λίμνη ήταν αβαθής, με χαμηλές κλίσεις πυθμένα, οδηγούσε στην παγίδευση πλημμυρικών υδάτων του ποταμού Πηνειού. Αποτέλεσμα αυτού, ήταν ο κατάκλυσμός της από καλλιεργήσιμες εκτάσεις και η εντατικοποίηση της γεωργίας. Σε περιόδους ανομβρίας, ήταν έντονο το φαινόμενο αποξήρανσης της λίμνης, με άμεσο αποτέλεσμα την διαταραχή του οικοσυστήματος. Στη συνέχεια ακολούθησε και η τεχνητή αποξήρανσή της το 1962. Η ανάγκη αποκατάστασης, και ανανέωσης των υδάτων έφερε στο προσκήνιο την λειτουργία ενός ταμιευτήρα, που θα 'ελάφρυνε' τον υπόγειο υδροφόρο, αφού οι καλλιέργειες θα τροφοδοτούνταν και από αυτόν. Το έργο αποκατάστασης της λίμνης (ταμιευτήρας), αναμενόταν να υλοποιηθεί το 2012, κάτι που δεν έγινε ποτέ. Το γεγονός της αύξησης ζήτησης, μιας και μεγάλο ποσοστό της έκτασης καλλιεργείται και από υδροβόρες καλλιέργειες, σε συνδυασμό με την υπερεκμετάλλευση των υπόγειων υδατικών πόρων, την ύπαρξη παράνομων γεωτρήσεων και την κλιματική αλλαγή, οδήγησαν στην πτώση του υδροφόρου ορίζοντα. Κατ' επέκταση οδήγησε και στη μείωση προσφοράς, αποφέροντας ελλειμματικά υδατικά ισοζύγια. Η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στην παρούσα εργασία αφορά τα έτη χρονοσειράς 2005-2015, προτείνοντας διαφορετικές προτάσεις στην υφιστάμενη κατάσταση (Σενάριο 1). Αλλά και συνδυαστικές με το αν είχε τεθεί σε λειτουργία ο ταμιευτήρας (Σενάριο 2). Σε κάθε περίπτωση εφαρμόστηκαν σενάρια τεχνικών μέτρων όπως η βελτίωση απόδοσης δικτύου και μεθόδου άρδευσης (Σενάρια a, b), καθώς και εναλλαγής καλλιεργειών (Σενάρια c, d). Τα κόστη εφαρμογής τους προκύπτουν από ισολογισμούς ΤΟΕΒ. Πέραν της ποσοτικής επιβάρυνσης, υπήρξε και ποιοτική υποβάθμιση του υπόγειου υδροφόρου και για το λόγο αυτό, στην παρούσα εργασία εκτιμήθηκε κατά πόσο η ποσοτική αναπλήρωση επιφέρει ποιοτική αναβάθμιση μέσω της διαδικασίας της αραίωσης. Η αντίστοιχη επιβάρυνση των υδάτων της λεκάνης λόγω υπερλίπανσης, χημικών παραμέτρων και φυτοφαρμάκων, μελετήθηκε από δειγματοληπτικά δεδομένα για το έτος 2015. Ένας ακόμη πολύ βασικός δείκτης εκτίμησης της σωστής διαχείρισης του νερού, είναι ο υπολογισμός της αξίας του ως ενδιάμεσο αγαθό. Για το λόγο αυτό, η αποτίμηση της αξίας του νερού πραγματοποιήθηκε μέσω της μεθόδου 'μεταβολής του ακαθάριστου κέρδους'. Στη συνέχεια, υπολογίστηκαν τα καθαρά κέρδη από την αγροτική δραστηριότητα, καθώς η απόδοση των καλλιεργειών είναι ένα από τα κριτήρια επιλογής τους από τους αγρότες. Πέραν της μελέτης των παραπάνω παραμέτρων του προβλήματος, απαραίτητη είναι και η εύρεση προτάσεων για αυτό. Βέβαια, οποιαδήποτε πρόταση και μεταρρύθμιση παρουσιαστεί, είναι σημαντικό να μπορεί να γίνει αποδεκτή από τους άμεσα ενδιαφερόμενους. Γι' αυτό συλλέχθηκαν από τη βιβλιογραφία αποτελέσματα ερωτηματολογίων στη Θεσσαλία, και ελέγχθηκε η ανταπόκριση των αγροτών στις εναλλακτικές που προτείνει η παρούσα μελέτη. Τα παραπάνω λοιπόν, διαμορφώνουν μια εικόνα γύρω το πρόβλημα και τις ενδεχόμενες λύσεις του, καθώς και την ανταπόκριση των αγροτών σε αυτές. Θέλοντας να διαμορφωθεί μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα των υδατικών πόρων σε επίπεδο Ελλάδας πέραν της Θεσσαλίας, εξετάστηκαν οι λεκάνες απορροής Αλμυρού, Κορώνειας, Λουδία, που φαίνεται να βάλλονται από τα ίδια προβλήματα. Στόχος είναι η ενίσχυση της ολοκληρωμένης και βιώσιμης διαχείρισης

μέσω του ελέγχου του υδατικού ισοζυγίου, των κερδών από την αγροτική δραστηριότητα, και της βελτίωσης της ποιότητας των υδάτων. Τα πρώτα βήματα που παρουσιάζονται στο παρόν σύστημα -μιας και σπάνια συναντώνται μελέτες όπου υδρο-οικονομική μοντελοποίηση και ποιότητα υδάτων συνδυάζονται- μπορούν να αποτελέσουν χρήσιμη πληροφόρηση και σημείο εκκίνησης για μια πιο ολοκληρωμένη νοοτροπία διαχείρισης.

ABSTRACT

Water Resources Management faces today water scarcity problems, either with the physical, economic or water quality term. The present study attempts to illustrate this situation in an area based on rural economy, considering hydrological, economic and water quality parameters, as well as several management strategies. The aim is to strengthen the integrated and sustainable management, through controlling water balance, profits from agricultural activities, and improving water quality. The research area that has been chosen, is the agricultural catchment area of Lake Karla which is among the largest and most environmentally important lakes ever existed in Greece. The fact that the lake was shallow with low depth slopes, led to the flood water trapping of the River Pinios. This resulted in the formation of arable land and the intensification of agriculture. Dry weather periods led to Lake's dehydration, which affected the ecosystem's balance. After this, an artificial drainage happened, in 1962. The need of restoration and renewal of the water resources brought forward the idea of a reservoir which would ease the groundwater since the reservoir would also supply the crops. The plan of restoring the Lake which involved the construction of the reservoir was to be completed in 2012. However, this did not ever happen. The fact that the demand was rising since large percentage of the land is cultivated by high water demand crops, and in combination with the overexploitation of the groundwater, the existence of the illegal drilling plus the climate change, led to the fall of the aquifer. Due to the drop of the supply, the water balance becomes negative. The analysis refers to the years 2005-2015, suggesting different proposals for the current situation (Scenario 1). But also combining proposals providing that the reservoir was in order (Scenario 2). In each situation scenarios of technical measures, network performance improvement and irrigation methods were implemented (Scenarios a, b) plus crop rotation (Scenarios c, d). The implementation costs are based on Local Organization Ground Improvements' balance sheets. The fact that the underground was burdened, made it imperative to estimate to what extent the quantitative replenishment resulted in the qualitative ungrade through the dilution process. Using the sample data of the year 2015, the corresponding burden of the catchment area's water resources owing to the overfertilizing, chemical parameters and pesticides, was studied. One significant evaluation indicator of the proper water management is the calculation of its value as an intermediate good using the method "change of the net-income". The net profit from the agricultural activity was calculated because is one of the farmers' criteria of choosing the crops. If any proposal or reform is introduced, it is imperative to be accepted by those of direct interest. That is the reason why in this present research project, bibliography based on Thessaly region was used to draw and examine the outcomes of questionnaires and farmers' response, concerning the suggested alternatives. Aiming for the complete situation concerning Greece's water resources, the watershed of Almyros, Koronia and Loudia, which appear to have the same problems, were examined. Therefore, the target is the enhance integrated and sustainable management through water balance control, yielding profit from agriculture and the improvement of the water source quality. In conclusion, the first steps that are introduced in this present system –since we rarely see studies which combine hydro-economic modeling with water quality resources- can be useful information and a starting point for a more integrated management orientation.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗ ΖΩΗ ΜΑΣ.....	1
1.1	Η πραγματικότητα γύρω από το νερό.....	1
1.2	Κρίση νερού.....	2
1.3	Κοινωνικές και περιβαλλοντικές συνέπειες της αρδευόμενης γεωργίας.....	3
1.4	Διαχείριση ζήτησης και όχι προσφοράς	3
1.5	Βιώσιμη ή αειφόρος ανάπτυξη – Σκέψου παγκόσμια, δράσε τοπικά.....	4
2	ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ	5
2.1	Θεσμικό πλαίσιο	5
2.2	Η Οδηγία 2000/60/ΕΕ.....	5
2.2.1	Εφαρμογή στην Ελλάδα	7
2.3	Αξιοποίηση υδατικών πόρων.....	8
2.4	Φορείς διαχείρισης υδατικών πόρων στην Ελλάδα	10
2.4.1	Τοπικοί οργανισμοί εγγείων βελτιώσεων.....	11
2.5	Συνιστώσες Διαχείρισης Υδατικών Πόρων	11
3	ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	13
3.1	Θέση και έκταση λεκάνης απορροής λίμνης Κάρλας.....	13
3.2	Μετεωρολογικά στοιχεία και κλίμα	15
3.3	Χρήσεις γης.....	15
3.4	ΤΟΕΒ	16
3.5	Δίκτυα άρδευσης.....	16
3.6	Λίμνη	17
3.7	Αποξήρανση.....	18
3.8	Ανασύσταση περιοχής	19
3.9	Συμβολή ταμιευτήρα.....	21
3.10	Προβλήματα λεκάνης απορροής λίμνης Κάρλας.....	21
4	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	23
4.1	Υπολογισμός υδατικού ισοζυγίου.....	23
4.1.1	Απολήψεις από ποταμό Πηνειό	23
4.1.2	Απολήψεις από υπόγειο υδροφόρα.....	25
4.1.3	Απολήψεις από ταμιευτήρα Κάρλας	26
4.2	Υπολογισμός αρδευτικών αναγκών - Ζήτηση	26
4.2.1	Φυτικός συντελεστής καλλιέργειας Kc	26
4.2.2	Υπολογισμός της Εξατμισοδιαπνοής των Καλλιεργειών.....	31
4.2.3	Ωφέλιμη ή ενεργός Βροχόπτωση	31

4.2.4	Μετεωρολογικά δεδομένα και σταθμοί.....	32
4.2.5	Συντελεστές απόδοσης μεθόδων άρδευσης.....	34
4.3	Υπολογισμός καθαρών κερδών	35
4.3.1	Ακαθάριστο κέρδος	35
4.3.2	Κόστος παραγωγής.....	35
4.3.3	Καθαρό κέρδος από την αγροτική δραστηριότητα	35
4.3.4	Δεδομένα για τον υπολογισμό καθαρών κερδών	36
4.4	Ποιοτική κατάσταση υδάτων.....	36
4.4.1	Μέσες απαιτήσεις σε λίπανση	36
4.4.2	Δειγματοληψία έτους 2015.....	37
4.4.3	Μείωση ελλειμάτων – ποιοτική αναβάθμιση μέσω αραίωσης.....	43
4.5	Αποτίμηση αξίας νερού	43
4.5.1	Ανάπτυξη λογιστικού μοντέλου	45
4.6	Καλλιεργητές	46
4.7	Σύγκριση με άλλες περιοχές	46
4.8	Διαχειριστικά σενάρια	47
5	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	49
5.1	Υδατικές απαιτήσεις	49
5.1.1	Έτη 2005-2011	49
5.1.2	Ετήσιες υδατικές απαιτήσεις ανά σενάριο	50
5.1.3	Προσφορά υπογείων υδάτων ανά σενάριο	51
5.1.4	Επιβάρυνση υπόγειου υδροφορέα με ταμιευτήρα και χωρίς.....	52
5.1.5	Ετήσιες απαιτήσεις από τα επιφανειακά ύδατα ανά σενάριο.....	53
5.1.6	Ετήσιες υδατικές απαιτήσεις από ταμιευτήρα ανά σενάριο.....	53
5.1.7	Υδατικό Ισοζύγιο.....	54
5.2	Καθαρά κέρδη από την αγροτική δραστηριότητα	55
5.3	Κόστη εφαρμογής σεναρίων.....	57
5.4	Ποιοτική κατάσταση υδάτων.....	61
5.4.1	Λίπανση	61
5.4.2	Ποιοτική αναβάθμιση μέσω αραίωσης.....	63
5.5	Αξία αρδευτικού νερού.....	65
5.6	Έτος – Στόχος 2015	66
5.6.1	Υδατικό Ισοζύγιο.....	67
5.6.2	Κέρδη.....	67
5.6.3	Κόστη	67

5.6.4	Ποιοτική κατάσταση	68
5.6.5	Αξία νερού.....	70
5.6.6	Σχολιασμός – Πρόταση για το έτος 2015.....	70
6	ΣΤΑΣΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΩΝ	71
6.1	Δείγμα από παλαιότερη έρευνα	71
6.2	Συμπέρασμα.....	76
7	ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΕΡΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΚΑΙ ΑΛΛΕΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ.....	77
7.1	Επιλογή σεναρίου με βάση το έτος-στόχο 2015.....	77
7.2	Άλλες εναλλακτικές.....	77
8	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΑΛΛΕΣ ΑΓΡΟΤΙΚΣ ΛΕΚΑΝΕΣ ΤΗΣ ΧΩΡΑΣ	79
8.1	Περίπτωση Αλμυρού	79
8.1.1	Καλλιέργειες.....	80
8.1.2	Υδατικό Ισοζύγιο.....	81
8.1.3	Κέρδη από την αγροτική δραστηριότητα	82
8.1.4	Ποιοτική κατάσταση υπόγειων υδάτων.....	83
8.1.5	Αποτίμηση αξίας νερού	86
8.2	Περίπτωση Κορώνειας.....	87
8.2.1	Καλλιέργειες.....	88
8.2.2	Υδατικό Ισοζύγιο.....	88
8.2.3	Ποιοτική κατάσταση υδάτων	89
8.2.4	Υφιστάμενη κατάσταση	89
8.3	Περίπτωση Λουδία	90
8.3.1	Καλλιέργειες.....	91
8.3.2	Ποιοτική κατάσταση υπόγειων υδάτων.....	92
8.3.3	Αποτίμηση αξίας νερού	92
8.3.4	Ανάγκες σε νερό	93
8.4	Κοινά στοιχεία και διαφορές	94
8.5	Γενική διαχείριση μέσω σεναρίων και στις τέσσερις περιοχές	95
9	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	97
9.1	Γενικά συμπεράσματα	97
9.2	Προτάσεις	99
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	101

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. 1 Ποσοστιαία κατανομή χρήσης νερού στην Ευρώπη (ΕΕΑ, 1999)	1
Εικόνα 1. 2 Γεγονότα σε παγκόσμια κλίμακα (https://www.seametrics.com/blog/water-facts/).	2
Εικόνα 3. 1 Θέση, όρια και λεκάνες του ΥΔ Θεσσαλίας.	14
Εικόνα 3. 2 Χάρτης υδρολογικής λεκάνης απορροής της λίμνης Κάρλας.	14
Εικόνα 4. 1 Συνιστώσες υδρολογικούς κύκλου (USGS).	23
Εικόνα 4. 2 Έργα απολήψεων ΤΟΕΒ Πηνειού (Υδρομέντωρ, 2015).....	24
Εικόνα 8. 1 Χάρτης απεικόνισης της λεκάνης του Αλμυρού (Google maps, 2019).	79
Εικόνα 8. 2 Κατανομή μελετηθέντων γεωτρήσεων και πηγών στην περιοχή του Αλμυρού (ΙΓΜΕ, 2010).	84
Εικόνα 8. 3 Χάρτης κατανομής συγκεντρώσεων κατιόντων χλωρίου (Cl) στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλίας (ΙΓΜΕ, 2010).	86
Εικόνα 8. 4 Χάρτης απεικόνισης της λίμνης Κορώνειας (Google maps, 2019).	87
Εικόνα 8. 5 Χάρτης απεικόνισης του ποταμού Λουδία (Google maps, 2019)	90

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 4. 1 Δυναμικότητα του συστήματος με βάση τις μέγιστες παροχές και τις προτεινόμενες από μελέτες απολήψεις του Τ.Ο.Ε.Β. Πηνειού (Υδρομέντωρ, 2015).	25
Πίνακας 4. 2 Φυτικοί συντελεστές, Kc, κατά FAO (1998).....	27
Πίνακας 4. 3 Χωροχρονική κατανομή εκτάσεων που έχουν ως πηγή τροφοδότησης τον υπόγειο υδροφόρα (Τζαφόλια, 2018).	29
Πίνακας 4. 4 Χωροχρονική κατανομή εκτάσεων που έχουν ως πηγή τροφοδότησης τα επιφανειακά ύδατα του Πηνειού (Τζαφόλια, 2018).	30
Πίνακας 4. 5. Συντελεστές προσαύξησης υδατικών απαιτήσεων λόγω απωλειών άρδευσης (Υδρομέντωρ, 2015)	35
Πίνακας 4. 6 Απόδοση παραγωγής, τιμή προϊόντος, επιδοτήσεις και κόστος παραγωγής για κάθε καλλιέργεια.	36
Πίνακας 4. 7 Λίπασμα(kg/km ²) που απαιτείται για κάθε καλλιέργεια.	37
Πίνακας 4. 8 Αποτελέσματα δειγματοληψίας-Χημικοί παράμετροι στον υπόγειο υδροφόρα	38
Πίνακας 4. 9 Αποτελέσματα δειγματοληψίας- Χημικοί παράμετροι στα επιφανειακά ύδατα Πηνειού. ...	39
Πίνακας 4. 10 Αποτελέσματα δειγματοληψίας- Χημικές παράμετροι στον ταμιευτήρα της Κάρλας.....	39
Πίνακας 4. 11 Αποτελέσματα δειγματοληψίας-Γεωργικά φάρμακα στον υπόγειο υδροφόρα	40
Πίνακας 4. 12 Αποτελέσματα δειγματοληψίας- Γεωργικά φάρμακα στα επιφανειακά Πηνειού	40
Πίνακας 4. 13 Αποτελέσματα δειγματοληψίας-Γεωργικά φάρμακα στον ταμιευτήρα της Κάρλας.	41
Πίνακας 4. 14 Αντιστοίχιση ξηρικών με αρδευόμενων καλλιεργειών για την εύρεση αξίας νερού. (Λατινόπουλος, 2006).....	46
Πίνακας 5. 1 Λίπανση ανά σενάριο (kg).....	61
Πίνακας 5. 2 Μεταβολή ελλειμμάτων ισοζυγίων έτους 2015 (hm ³).	63
Πίνακας 5. 3 Ρύποι εκτός ορίων από δειγματοληψία έτους 2015.	64
Πίνακας 6.4 Ποσοστά μείωσης συγκεντρώσεων (%) χημικών παραμέτρων (Χ.Π.) και γεωργικών φαρμάκων (Γ.Φ.) μέσω της αραιώσης.	64
Πίνακας 5.5 Ακαθάριστη πρόσοδος (BPA) και κόστος παραγωγής (CPA), έπειτα από σύγκριση αρδευόμενων και αντίστοιχων ξηρικών καλλιεργειών στις δύο ζώνες.	65
Πίνακας 5.6 Ακαθάριστη πρόσοδος (BPA) και κόστος παραγωγής (CPA), έπειτα από σύγκριση αρδευόμενων και αντίστοιχων ξηρικών καλλιεργειών στις τρεις ζώνες.	65
Πίνακας 5. 7 Αξία αρδευτικού νερού ανά σενάριο στη λεκάνη (€/m ³).....	66

Πίνακας 6. 1 Ποσοστά που αναλογούν σε κάθε κριτήριο, σε αντιστοιχία με την Προθυμία Πληρωμής (Μπουζούκης 2016).....	73
Πίνακας 6. 2 Ποσοστά που αναλογούν σε κάθε εισοδηματική κλάση, σε αντιστοιχία με την Προθυμία Πληρωμής (Μπουζούκης 2016).....	73

Πίνακας 8. 1 Αποτελέσματα αρδευτικών απαιτήσεων (hm^3), προσφοράς (hm^3) και υδατικού ισοζυγίου για τος έτος 2015.....	81
Πίνακας 8. 2 Καθαρά κέρδη από την αγροτική δραστηριότητα για κάθε καλλιέργεια στον Αλμυρό.	82
Πίνακας 8. 3 Τόνοι λίπανσης που απαιτούνται για κάθε καλλιέργεια στον Αλμυρό.....	83
Πίνακας 8. 4 Συγκεντρώσεις χημικών στοιχείων έπειτα από ανάλυση υδάτων στις γεωτρήσεις, στην περιοχή του Αλμυρού (ΙΓΜΕ, 2010).....	85
Πίνακας 8. 5 Αποτελέσματα ακαθάριστου κέρδους- INPA (€), αρδευτικών αναγκών- TCWR (m^3) και τελικής αξίας αρδευτικού νερού- WVAL ($€/m^3$), Αλμυρού.	86
Πίνακας 8. 6 Υδατικό ισοζύγιο 1970-1999 για τη λίμνη Κορώνεια (Malamataris et al, 2017).	89
Πίνακας 8. 7 Υδατικό ισοζύγιο, κέρδη, λίπανση, αξία νερού στις λεκάνες απορροής Κάρλας και Αλμυρού.	95

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 3. 1 Μέση κατανομή εκτάσεων για την περίοδο 2005-2015.....	16
Σχήμα 4. 1 Εξέλιξη του συντελεστή βλάστησης (Kc) της καλλιέργειας.	27
Σχήμα 4. 2 Μέσες μηνιαίες βροχοπτώσεις για την περίοδο μελέτης.	33
Σχήμα 4. 3 Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες για την περίοδο μελέτης.....	33
Σχήμα 5. 1 Ολική λίπανση ανά έτος για κάθε σενάριο (tn).....	62
Σχήμα 5. 2 Μεταβολή ελλειμμάτων ισοζυγίων έτους 2015 (hm^3).	63
Σχήμα 5. 3 Αξία αρδευτικού νερού ανά σενάριο στη λεκάνη ($€/m^3$).....	66
Σχήμα 5. 4 Υδατικό Ισοζύγιο έτους – στόχου 2015 (hm^3).....	67
Σχήμα 5. 5 Καθαρά κέρδη από την αγροτική δραστηριότητα έτους – στόχου 2015 € (εκ.).....	67
Σχήμα 5. 6 Κόστη εφαρμογής σεναρίου έτους – στόχου 2015 € (εκ.).....	68
Σχήμα 5. 7 Ποσοστά μείωσης συγκεντρώσεων (%) χημικών παραμέτρων (Χ.Π.) και γεωργικών φαρμάκων (Γ.Φ.) στα υπόγεια ύδατα.....	68
Σχήμα 5. 8 Ποσοστά μείωσης συγκεντρώσεων (%) χημικών παραμέτρων (Χ.Π.) και γεωργικών φαρμάκων (Γ.Φ.) στα υπόγεια ύδατα.....	69
Σχήμα 5. 9 Ποσοστά μείωσης συγκεντρώσεων (%) χημικών παραμέτρων (Χ.Π.) και γεωργικών φαρμάκων (Γ.Φ.) στα υπόγεια ύδατα.....	69
Σχήμα 5. 10 Αξία αρδευτικού νερού WVAL για το έτος – στόχο 2015 ($€/m^3$).	70
Σχήμα 6. 1 Ποσοστά με βάση τις προτεραιότητες για επερχόμενη επένδυση (Μπουζούκης, 2016).	71
Σχήμα 6. 2 Ποσοστό αγροτών κάθε ηλικιακής κλάσης ανά κατηγορία κριτηρίου (Μπουζούκης, 2016). ..	72
Σχήμα 6. 3 Ποσοστό προθυμίας πληρωμής αγροτών, ανά στρέμμα (Μπουζούκης, 2016).	73
Σχήμα 6. 4 Ποσοστό με βάση τη σημαντικότερη πρόκληση που αντιμετωπίζει η περιοχή (Μπουζούκης, 2016).....	74
Σχήμα 6. 5 Ποσοστιαία κατανομή βάσει του τρόπου αντιμετώπισης λειψυδρίας (Μπουζούκης, 2016). .	75
Σχήμα 6. 6 Ποσοστιαία κατανομή βάσει των αιτιών έλλειψης νερού, σύμφωνα με τους αγρότες (Μπουζούκης, 2016).....	75
Σχήμα 8. 1 Ποσοστά με βάση τις χρήσεις γης στη λεκάνη του Αλμυρού.	80
Σχήμα 8. 2 Ποσοστιαία κατανομή των καλλιεργειών της λεκάνης του Αλμυρού για τα έτη 2006-2015. .	81
Σχήμα 8. 3 Διάγραμμα υδατικού ισοζυγίου για τη λεκάνη απορροής του Αλμυρού έτους 2015.	82

Σχήμα 8. 4 Ποσοστιαία κατανομή των καλλιεργειών της λίμνης Κορώνεια έτους 2013 (Malamataris et.al, 2015).....	88
Σχήμα 8. 5 Ποσοστιαία κατανομή των καλλιεργειών της λεκάνης απορροής Λουδία για τα έτη 1998-2003.....	92
Σχήμα 8. 6 Αξία αρδευτικού στη λεκάνη του Λουδία (Λατινόπουλος, 2006).....	93
Σχήμα 8. 7 Υδατικές ανάγκες στη λεκάνη του Λουδία (Λατινόπουλος, 2006).	93

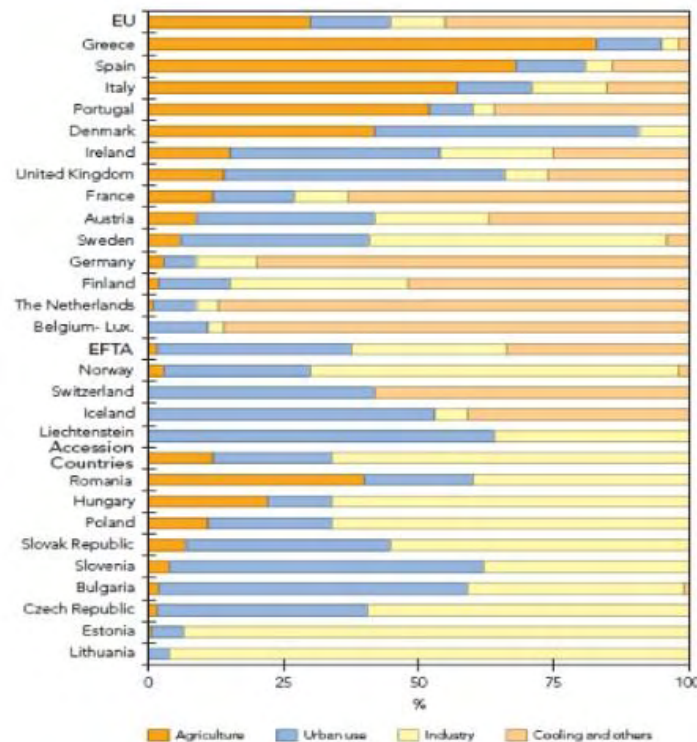
1 ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗ ΖΩΗ ΜΑΣ

1.1 Η πραγματικότητα γύρω από το νερό

Οι Έλληνες φιλόσοφοι περιέγραψαν ένα φυσικό κόσμο που αποτελείται από τέσσερα στοιχεία: γη, νερό, φωτιά και αέρα. Πλέον, η αντίληψη αυτή δεν έχει αλλάξει, με τη διαφορά ότι τώρα αυτά τα στοιχεία αναφέρονται με τους όρους οικοσύστημα (γη), νερό (νερό), ενέργεια (φωτιά), και ατμόσφαιρα (αέρας). Ο πληθυσμός πλέον γνωρίζει ραγδαία ανάπτυξη, με αποτέλεσμα να αντιμετωπίζει μεγάλες κρίσεις σε αυτούς τους τομείς. Επικρατούσε η αντίληψη πως ο αέρας και το νερό ήταν τόσο άφθονα ώστε δεν υπήρχε καμία ανησυχία για την εξάντληση τους.

Παγκοσμίως, το 70% του νερού που αντλείται για ανθρώπινη χρήση χρησιμοποιείται στη γεωργία, το 22% στη βιομηχανία και το 8% χρησιμοποιείται για άλλες χρήσεις. Με βάση τα στοιχεία που προκύπτουν από παγκόσμιους οργανισμούς, όπως η Διεθνής Τράπεζα, ο Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών και άλλοι, αναδεικνύονται δύο βασικές συνιστώσες παγκοσμίως, όσον αφορά στο πρόβλημα της ποσότητας του νερού και της επάρκειάς του. Η πρώτη, αφορά στην αύξηση συνολικά της κατανάλωσης και είναι συνάρτηση δύο παραγόντων:

1. της αύξησης των αναγκών σε νερό στις πλούσιες χώρες του κόσμου, ως αποτέλεσμα της ανόδου του βιοτικού επιπέδου, της αλματώδους ανάπτυξης και της τεχνολογικής εξέλιξης, (αύξηση οικιακών χρήσεων, ραγδαία αύξηση των αρδευόμενων καλλιεργειών, αύξηση βιομηχανικών μονάδων κλπ.) και
2. της συνολικής αύξησης του πληθυσμού στη γη (σήμερα ο πληθυσμός της γης έχει φθάσει τα 7.5 δισεκατομμύρια κατοίκους).



Εικόνα 1. 1 Ποσοστιαία κατανομή χρήσης νερού στην Ευρώπη (EEA, 1999)

Το νερό είναι ένα φυσικό αγαθό σε συνθήκες ανεπάρκειας, ανανεώσιμο αλλά όχι ανεξάντλητο.

- Περίπου το 30% των γυναικών στην Αίγυπτο περπατάει με τα πόδια πάνω από 1 ώρα την ημέρα για να ικανοποιήσουν τις υδατικές ανάγκες τους. Σε ορισμένα μέρη της Αφρικής, οι γυναίκες και τα παιδιά χρειάζεται να περάσουν 8 ώρες (10-15 χιλιόμετρα κατά μέσο όρο) την ημέρα μόνο για τη συλλογή του νερού.
- Εκτιμάται ότι ο μέσος άνθρωπος στις ανεπτυγμένες χώρες χρησιμοποιεί 500-800 λίτρα νερού ανά ημέρα (300 m^3 ετησίως), σε σύγκριση με 60-150 λίτρα ανά ημέρα (20 m^3 ετησίως) στις αναπτυσσόμενες χώρες.
- Είναι γνωστό ότι το νερό έχει θεωρηθεί παραδοσιακά ως μια ελεύθερη πηγή απεριόριστης προσφοράς με μηδενικό κόστος στο σημείο της προσφοράς και, στην καλύτερη περίπτωση, οι χρήστες του νερού έχουν χρεωθεί μόνο ένα μέρος του κόστους της εξόρυξης, μεταφοράς, επεξεργασίας και διάθεσης. Στους χρήστες προσφέρονται ελάχιστα κίνητρα για να χρησιμοποιούν αποδοτικά το νερό και να μην το σπαταλούν.

1908	Αργεντινή	Καταστροφή καλλιεργειών, πείνα λόγω ξηρασίας.
1947	Τσεχοσλοβακία	Καταστροφή του ενός τρίτου της εθνικής παραγωγής.
1953	Αγγλία	Στο Λονδίνο 34 συνεχόμενες μέρες χωρίς βροχή.
1953	Ρουμανία	Λοιμός λόγω ανομβρίας.
1854 – 1959	Βραζιλία	Μεγάλες εκτάσεις μετατρέπονται σε ερήμους. Στο λεξικό προστίθεται η λέξη «φλαγκελάντος» που σημαίνει θύματα της ανομβρίας, ενώ συζητείται η μετανάστευση μεγάλου μέρους του πληθυσμού.
1963	Ισραήλ	Πρώτη φορά ξηρασία μετά από 30 χρόνια.

Εικόνα 1. 2 Γεγονότα σε παγκόσμια κλίμακα (<https://www.seametrics.com/blog/water-facts/>).

1.2 Κρίση νερού

Από τα παραπάνω γίνεται κατανοητό πως το νερό είναι το πολυτιμότερο φυσικό αγαθό για την διατήρηση και τη συνέχιση της ζωής στον πλανήτη. Παρόλα αυτά, η σύγχρονη κοινωνία αντιμετωπίζει το νερό μόνο σαν ένα απόθεμα σε πρώτη ζήτηση και όχι ως ένα οικοσύστημα που συντηρεί τον φυσικό κόσμο από τον οποίο εξαρτόμαστε (Αλαμάνος, Μπέτσιος, 2014). Το νερό θεωρείται βιολογικό αγαθό, ωστόσο με βάση την πολιτική της διαχείρισης της ζήτησης αποκτά οικονομική θεώρηση από την οποία προκύπτει και η ανάγκη για την κοστολόγησή του σύμφωνα με την πλήρη αξία του.

Η υποτίμηση της αξίας του νερού και η μη θεώρησή του ως αγαθό που ήδη βρίσκεται σε ανεπάρκεια, συμβάλλει στην υποτίμηση της περιβαλλοντικής του αξίας, διογκώνοντας το πρόβλημα και οδηγώντας σε αλόγιστη χρήση και υπερεκμετάλλευση (Αλαμάνος και Μπέτσιος, 2014). Βεβαίως η αντιμετώπιση του νερού ως οικονομικού αγαθού δεν είναι συνώνυμη ούτε με κατακόρυφες αυξήσεις στα τιμολόγια με τα αρνητικά αποτελέσματα στην κοινωνική αποδοχή των μέτρων, ούτε με την επιδίωξη της συγκέντρωσης επιπλέον εσόδων για την κάλυψη των ελλειμμάτων της δημοσιονομικής πολιτικής (Αλαμάνος και Μπέτσιος, 2014). Ωστόσο, το πραγματικό περιβαλλοντικό κόστος του νερού θα πρέπει να γίνεται πάντοτε φανερό και να υπολογίζεται ακόμη και σε περιπτώσεις κρατικών ή άλλης μορφής επιδοτήσεων.

Επειδή το νερό που χρησιμοποιείται στον γεωργικό χώρο δεν αποτελεί από μόνο του κάποιο “κλειστό σύστημα”, αλλά προέρχεται από υδατικούς πόρους με πολλαπλές δυνητικές χρησιμότητες και συχνά ανήκει σ’ ένα ευρύτερο οικοσύστημα με ποικίλες περιβαλλοντικές λειτουργίες, είναι σκόπιμο η αξία του να συμπεριλαμβάνει - όσο αυτό είναι δυνατόν - και τις μη χρηστικές αξίες που συνεπάγεται η χρήση του. Μια από αυτές είναι η δυνατότητα διαδοχικής χρήσης, αλλά και επαναχρησιμοποίησής του μέσω των επιστροφών ροής. Η κατανάλωση νερού για αρδεύσεις δημιουργεί ακόμα σημαντικές έμμεσες αξίες στα επόμενα στάδια του κύκλου του νερού μέσω της διήθησης και της ανατροφοδότησης του εδάφους (Hoekstra et al., 2005). Πολλές φορές, οι αρδεύσεις έχουν επίσης ένα κοινωνικό όφελος πολύ μεγαλύτερο από την αύξηση του ευημερίας των γεωργών, καθώς συμβάλλουν στην οικονομική βιωσιμότητα και την κοινωνική συνοχή των αγροτικών περιοχών.

1.3 Κοινωνικές και περιβαλλοντικές συνέπειες της αρδευόμενης γεωργίας

Η αρδευόμενη γεωργία αποτελεί ένα πολύπλοκο σύστημα αλληλεπίδρασης του φυσικού περιβάλλοντος και της ευρύτερης αγροτικής κοινωνίας. Στο σύστημα αυτό, οι υδατικοί πόροι είναι ουσιαστικά ένα ενδιάμεσο αγαθό καθώς χρησιμοποιούνται ως εισροές για τη γεωργική παραγωγή.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, η εντατικοποίηση της γεωργίας οδηγεί στην επιβάρυνση του φυσικού περιβάλλοντος. Ιδιαίτερα επιβαρύνει τους υδατικούς πόρους (τόσο στην ποσότητα όσο και στην ποιότητά τους) επηρεάζοντας τα επιφανειακά και τα υπόγεια ύδατα. Επιπλέον επηρεάζει τα εδάφη (ρύπανση, διάβρωση) και τα οικοσυστήματα υποβαθμίζοντάς τα. Οι υπεραντλήσεις από επιφανειακά νερά μπορεί να διαταράξουν τη ροή ενός ποταμού ή να προκαλέσουν την πτώση της στάθμης των λιμνών, ενώ στην περίπτωση του υπόγειου νερού είναι πιθανό να προκαλέσουν πτώση της στάθμης των υπόγειων υδροφορέων.

Ειδικότερα για την Ελλάδα, το 40% του συνολικού νερού άρδευσης αντλείται από υπόγειους υδροφορείς (Χατζηλάκου, 2001). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, σε αρκετές παραθαλάσσιες πεδινές περιοχές, να παρουσιάζεται διείσδυση θαλασσινού νερού και υφαλμύρωση των υδροφόρων στρωμάτων. Γεωργικά φάρμακα, θρεπτικά στοιχεία που προέρχονται από τα λιπάσματα, τοξικά, μέταλλα, καθώς και μικροοργανισμοί, μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο τον άνθρωπο ή την υδρόβια ζωή. Οι αρδεύσεις επιτείνουν σημαντικά αυτή τη διεργασία για δύο λόγους.

Όταν προκύπτουν ελλείμματα νερού λόγω κορεσμού του εδάφους, οι γεωργοί θα προσπαθήσουν να καλύψουν με ανορθόδοξους τρόπους τις ανάγκες των καλλιεργειών τους (υπεράντληση), με συνέπεια την χωρίς τέλος επανάληψη αρνητικού ισοζυγίου προσφοράς και ζήτησης. Κάτι που θα οδηγήσει μακροπρόθεσμα σε χαμηλότερα κέρδη γεωργών λόγω της μείωσης των αποδόσεων στα γεωργικά προϊόντα..

1.4 Διαχείριση ζήτησης και όχι προσφοράς

Η διαχείριση των υδατικών πόρων έχει πάρει διάφορες μορφές και κατευθύνσεις στην ιστορία της ανθρωπότητας. Από τη δεκαετία του 1950 επικράτησε η αντίληψη της διαχείρισης της προσφοράς. Η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση έπρεπε να ικανοποιηθεί με οποιοδήποτε τρόπο. Η σύγχρονη αντίληψη υποστηρίζει τη διαχείριση ζήτησης και όχι προσφοράς, η οποία αποτελεί θεμέλιο της παρούσας εργασίας.

1.5 Βιώσιμη ή αειφόρος ανάπτυξη – Σκέψου παγκόσμια, δράσε τοπικά

Μια λύση στη παραπάνω κατάσταση αποτελεί η παραδοχή της βιώσιμης ή αειφόρου ανάπτυξης, σύμφωνα με την οποία η προσπάθεια για κάλυψη των σημερινών αναγκών δεν υπονομεύει την αντίστοιχη προσπάθεια και των μελλοντικών γενεών να καλύψουν τις δικές τους ανάγκες (Τσακίρης, 2001).

Πολλοί διεκδικούν την έκφραση «Think globally, act locally» (Σκέψου παγκόσμια, δράσε τοπικά) αλλά η σύλληψη της ιδέας σε πρακτικό επίπεδο αποδίδεται στο σκωτσέζο, βιολόγο, κοινωνιολόγο, γεωγράφο και πρωτοπόρο πολεοδόμο, Patrick Geddes (1854-1932). Στο βιβλίο του «Cities in Evolution» (1915) πρότεινε την άποψη ότι η ανάπτυξη των πόλεων πρέπει να γίνεται σε συμφωνία με τη φύση και τους φυσικούς πόρους και όχι ενάντια σε αυτή. Σήμερα η έκφραση αυτή είναι ένα από τα πιο δημοφιλή ρητά στις περισσότερες εργασίες για το νερό, την ενέργεια, την κλιματική αλλαγή. Στην σύσκεψη του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών στο Rio de Janeiro (1992) για το περιβάλλον και την ανάπτυξη το «Think global, act local» υιοθετήθηκε ως κεντρικό σλόγκαν για τις μελλοντικές δράσεις στα ορυκτά καύσιμα, την κλιματική αλλαγή και την επερχόμενη έλλειψη νερού (λειτουργία).

Η διαδικασία μέσω της οποίας προάγεται η συντονισμένη ανάπτυξη και διαχείριση του νερού, της γης και των συναφών πόρων με στόχο τη μεγιστοποίηση της κοινωνικής και οικονομικής ευημερίας με δίκαιο τρόπο και χωρίς συμβιβασμούς ως προς τη βιωσιμότητα των ζωτικών συστημάτων καλείται ολοκληρωμένη διαχείριση υδατικών πόρων.

Είναι, λοιπόν, απαραίτητη η ανάπτυξη και η μελέτη προχωρημένων τεχνικών για μια ολοκληρωμένη αλλά και βιώσιμη διαχείριση υδατικών πόρων που δε θα στοχεύει στην οικονομική αφαίμαξη των γεωργών αλλά στη δημιουργία περιβαλλοντικής συνείδησης και προστασίας των υδατικών πόρων.

2 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

2.1 Θεσμικό πλαίσιο

Εξαιτίας την συνεχής έλλειψης νερού, προκύπτουν πολλές διαφωνίες μεταξύ όσων το χρησιμοποιούν και το χρειάζονται. Είναι λοιπόν, πολύ σημαντικό να ληφθούν αποφάσεις για την διατήρηση και την κατανομή του νερού που να συμβαδίζουν με κοινωνικούς στόχους όπως η βιωσιμότητα και η δικαιοσύνη.

Η θεώρηση του νερού ως οικονομικό αγαθό μπορεί να αποτελέσει ένα εργαλείο για την βελτίωση της διαχείρισης υδατικών πόρων. Σε αυτή την περίπτωση είναι απαραίτητο να προσδώσουμε στο νερό οικονομικές αξίες. Όμως ο υπολογισμός της αξίας του νερού είναι περίπλοκος, γιατί, δεδομένης της φύσης του, η οικονομική αποτίμηση πλείστων οφελών και υπηρεσιών του είναι εξαιρετικά δύσκολη. Ως αγαθό, το νερό έχει ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, όπως για παράδειγμα το ότι η φύση το προμηθεύει εν μέρει αποθηκευμένο σε δυσπρόσιτα σημεία και εν μέρει ως επιφανειακή ροή εύκολα προσβάσιμα, με αποτέλεσμα σε ορισμένες τοποθεσίες να προσφέρεται χωρίς κόστος, ενώ σε άλλες με αρκετά υψηλό κόστος (λόγω μεταφοράς).

Στη Διεθνή Διάσκεψη του Δουβλίνου, το 1992, υιοθετήθηκαν οι βασικές αρχές σχετικά με το νερό, μεταξύ των οποίων αναφέρεται ότι (ICWE,1992):

1. Το νερό είναι πεπερασμένος και ευαίσθητος φυσικός πόρος, απαραίτητος για τη διατήρηση της ζωής, την ανάπτυξη και το περιβάλλον
2. Η διαχείριση του νερού πρέπει να βασίζεται στην αρχή της συμμετοχής της κοινωνίας
3. Η κοινωνία συμμετέχει με προσπάθειες ευαισθητοποίησης του κοινού και των ατόμων που λαμβάνουν τις αποφάσεις για την σημασία του νερού.
4. Το νερό έχει οικονομική αξία σε όλες τις ανταγωνιστικές μεταξύ τους χρήσεις και πρέπει να αναγνωριστεί ως οικονομικό αγαθό
5. από τη στιγμή που το νερό συντηρεί τη ζωή, η αποτελεσματική διαχείριση των υδατικών πόρων απαιτεί μια ολιστική προσέγγιση, συνδέοντας την κοινωνική και οικονομική ανάπτυξη με την προστασία των φυσικών οικοσυστημάτων.

Παρόλη την οικονομική αξία του νερού, πρέπει να γίνει ξεκάθαρο ότι πάνω απ' όλα βασικό και αναπόσπαστο δικαίωμα όλων των ανθρώπων είναι η πρόσβαση σε καθαρό νερό σε προσιτή τιμή. Παλαιότερα, η αδυναμία αναγνώρισης της οικονομικής αξίας του νερού οδήγησε σε σπάταλες και περιβαλλοντικά επιζήμιες χρήσεις του φυσικού αυτού πόρου. Η διαχείριση του νερού ως οικονομικό αγαθό είναι ένας σημαντικός τρόπος να υπάρχει αποδοτική και δίκαιη χρήση του, καθώς και να ενθαρρυνθεί η προστασία και η εξοικονόμηση των υδατικών πόρων.

Στη διάσκεψη του Δουβλίνου αναφέρεται για πρώτη φορά η ανάγκη θεώρησης του νερού ως οικονομικού αγαθού. Ενώ ακολούθησε το 2ο Παγκόσμιο Φόρουμ για το Νερό στη Χάγη, όπου συμφωνήθηκε να αναγνωρίζεται στις αποφάσεις για τη διαχείριση του νερού, η πλήρης οικονομική αξία του νερού ως αγαθό (World Water Council, 2000).

2.2 Η Οδηγία 2000/60/ΕΕ

Τον Οκτώβριο του 2000, το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο προβεί στη θέσπιση ενός πλαισίου κοινοτικής δράσης, στον τομέα της πολιτικής των υδάτων, ευρέως γνωστό ως Οδηγία

2000/60, η οποία αποτελεί το αποκορύφωμα της προσπάθειας αντιμετώπισης του προβλήματος στους υδατικούς πόρους.

Η Οδηγία αποσκοπεί στην ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων με ταυτόχρονη επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων, δημιουργώντας την ανάγκη μιας σειράς οικονομικών αρχών, εργαλείων και μέτρων που συνδυάζουν τις οικονομικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές προκλήσεις. Συνδυάζει ποιοτικούς, οικολογικούς και ποσοτικούς στόχους για την προστασία των υδάτινων οικοσυστημάτων και την καλή κατάσταση όλων των υδατικών πόρων και θέτει ως κεντρική ιδέα την ολοκληρωμένη διαχείρισή τους στη γεωγραφική κλίμακα των λεκανών απορροής.

Η κοινοτική πολιτική υδάτων απαιτεί ένα διαφανές, αποτελεσματικό και συνεκτικό νομοθετικό πλαίσιο. Η Κοινότητα θα πρέπει να παρέχει τις κοινές αρχές και το συνολικό πλαίσιο δράσης, ούτως ώστε να συντονίσει, να ενσωματώσει και να αναπτύξει τις συνολικές αρχές και δομές για την προστασία και τη βιώσιμη χρήση του νερού. Η Οδηγία στοχεύει στη διατήρηση και τη βελτίωση του υδάτινου περιβάλλοντος. Συμβάλλει στην επιδίωξη των στόχων διατήρησης, προστασίας και βελτίωσης της ποιότητας του περιβάλλοντος, καθώς και συνετής και ορθολογικής χρησιμοποίησης των φυσικών πόρων, με βάση τις αρχές της προφύλαξης και της προληπτικής δράσης, την αρχή της επανόρθωσης των καταστροφών του περιβάλλοντος, κατά προτεραιότητα, στην πηγή καθώς και την αρχή “ο ρυπαίνων πληρώνει”. Ο στόχος για την επίτευξη της καλής κατάστασης των υδάτων επιδιώκεται για κάθε λεκάνη απορροής ποταμού, ούτως ώστε να συντονίζονται τα μέτρα που αφορούν επιφανειακά και υπόγεια ύδατα που ανήκουν στον ίδιο οικολογικό, υδρολογικό και υδρογεωλογικό σύστημα. Επιχειρούνται αναλύσεις των χαρακτηριστικών μιας λεκάνης απορροής ποταμού και των επιπτώσεων των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, καθώς και οικονομική ανάλυση της χρήσης του νερού. Λαμβάνεται υπόψη η αρχή της ανάκτησης του κόστους των υπηρεσιών ύδατος, στο οποίο συμπεριλαμβάνονται το κόστος για το περιβάλλον και το κόστος των πόρων τα οποία συνδέονται με κάθε βλάβη ή αρνητική επίπτωση στο υδάτινο περιβάλλον. Έτσι, εξασφαλίζεται ότι οι πολιτικές τιμολόγησης του νερού παρέχουν κατάλληλα κίνητρα στους χρήστες για να χρησιμοποιούν αποτελεσματικά τους υδατικούς πόρους και, κατά συνέπεια, να συμβάλλουν στην επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων και ότι στην ανάκτηση κόστους των υπηρεσιών ύδατος συμβάλλουν κατάλληλα οι διάφορες χρήσεις νερού, όπως βιομηχανική, αγροτική και αστική.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η Οδηγία 2000/60 εισάγει την οικονομική θεώρηση στην επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων. Η εφαρμογή είναι εξαιρετικά περίπλοκη, διότι περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα ζητημάτων και προβλημάτων. Κάθε περίπτωση είναι ιδιαίτερη και ξεχωριστή και πρέπει να αντιμετωπίζεται ως ένα ιδιαίτερο πρόβλημα. Απαιτεί τη συλλογή μεγάλου όγκου δεδομένων, τη στατιστική ανάλυσή τους, την ανάπτυξη και εφαρμογή μοντέλων βελτιστοποίησης και τη συνεχή ερευνητική δραστηριότητα και διάχυση των αποτελεσμάτων.

Σκοπός της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 2000/60 είναι η θέσπιση πλαισίου για την προστασία των εσωτερικών επιφανειακών, των μεταβατικών, των παράκτιων και των υπόγειων υδάτων, το οποίο:

- να αποτρέπει την περαιτέρω επιδείνωση, να προστατεύει και να βελτιώνει την κατάσταση των υδάτινων οικοσυστημάτων, καθώς και των αμέσως εξαρτώμενων από αυτά χερσαίων οικοσυστημάτων και υγροτόπων σε ό,τι αφορά τις ανάγκες τους σε νερό,
- να προωθεί τη βιώσιμη χρήση του νερού βάσει μακροπρόθεσμης προστασίας των διαθέσιμων υδατικών πόρων, □ να αποσκοπεί στην ενίσχυση της προστασίας και

τη βελτίωση του υδάτινου περιβάλλοντος, μεταξύ άλλων με ειδικά μέτρα για την προοδευτική μείωση των απορρίψεων, εκπομπών και διαρροών ουσιών προτεραιότητας και με την παύση ή τη σταδιακή εξάλειψη των απορρίψεων, εκπομπών και διαρροών των επικίνδυνων ουσιών προτεραιότητας,

- να διασφαλίζει τη προοδευτική μείωση της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων και να αποτρέπει της περαιτέρω μόλυνσή τους,
- να συμβάλλει στο μετριασμό των επιπτώσεων από πλημμύρες και ξηρασίες και με τον τρόπο αυτό να συμβάλλει:
- στην εξασφάλιση επαρκούς παροχής επιφανειακού και υπόγειου νερού καλής ποιότητας που απαιτείται για τη βιώσιμη, ισόρροπη και δίκαιη χρήση ύδατος,
- σε σημαντική μείωση της ρύπανσης των υπογείων υδάτων,
- στην προστασία των χωρικών και θαλάσσιων υδάτων και
- την επίτευξη των στόχων των σχετικών διεθνών συμφωνιών, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που αποσκοπούν στην πρόληψη και την εξάλειψη της ρύπανσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος για την παύση ή σταδιακή εξάλειψη των απορρίψεων, εκπομπών και διαρροών επικίνδυνων ουσιών προτεραιότητας, με απώτερο στόχο να επιτευχθούν συγκεντρώσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον οι οποίες, για μεν τις φυσικώς απαντώμενες ουσίες να πλησιάζουν το φυσικό βασικό επίπεδο για τις δε τεχνητές συνθετικές ουσίες να είναι σχεδόν μηδενικές.

2.2.1 Εφαρμογή στην Ελλάδα

Η Κοινοτική Οδηγία 2000/60 (European Parliament and Council of the European Union, 2000) που με το Ν. 3199/2003 ενσωματώθηκε στο ελληνικό δίκαιο επιβάλλει τη μέγιστη δυνατή προσοχή σε σχέση με τις αρνητικές πτυχές των έργων αξιοποίησης υδατικών πόρων (Κουτσογιάννης, 1999).

Σύμφωνα με το άρθρο 5 του Ν. 3199/03 η προστασία και διαχείριση κάθε λεκάνης απορροής ποταμού ανήκει στην Περιφέρεια στα διοικητικά όρια της οποίας εκτείνεται. Σε κάθε Περιφέρεια συστήνεται Διεύθυνση Υδάτων μέσω της οποίας ασκούνται οι αρμοδιότητες της Περιφέρειας για την προστασία και διαχείριση των υδάτων.

Η Διεύθυνση Υδάτων έχει τις ακόλουθες αρμοδιότητες:

1. Λαμβάνει τα αναγκαία μέτρα για την πρόληψη της υποβάθμισης των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων, την αναβάθμιση και αποκατάσταση των υδατικών συστημάτων, την προοδευτική μείωση της ρύπανσης από τις ουσίες προτεραιότητας και την παύση ή τη σταδιακή εξάλειψη των εκπομπών, των απορρίψεων και των διαρροών επικίνδυνων ουσιών προτεραιότητας, την προώθηση της βιώσιμης χρήσης του νερού βάσει μακροπρόθεσμης προστασίας των διαθέσιμων υδάτινων πόρων, τη διασφάλιση της ισορροπίας ανάμεσα στην άντληση νερού από τους υδροφόρους ορίζοντες και τον εμπλουτισμό τους, το μετριασμό των επιπτώσεων από πλημμύρες και ξηρασίες και την εφαρμογή όλων των στόχων και προτύπων που προβλέπονται για τις προστατευμένες περιοχές.
2. Εξειδικεύει και εφαρμόζει μακροχρόνια και μεσοχρόνια προγράμματα προστασίας και διαχείρισης των λεκανών απορροής ποταμού.

3. Καταρτίζει και εφαρμόζει τα Σχέδια Διαχείρισης και τα Προγράμματα Μέτρων και συντάσσει ετήσια έκθεση εφαρμογής τους. Η ετήσια έκθεση διαβιβάζεται στην Κεντρική Υπηρεσία Υδάτων.
4. Καταρτίζει μητρώο προστατευμένων περιοχών το οποίο επανεξετάζεται και ενημερώνεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα, και το οποίο, διαβιβάζει στην Κεντρική Υπηρεσία Υδάτων προκειμένου να καταρτιστεί Εθνικό Μητρώο προστατευμένων περιοχών.
5. Συγκεντρώνει και επεξεργάζεται τα στοιχεία της ποσότητας και της ποιότητας των υδάτων και τα αποστέλλει στη βάση υδρολογικών και μετεωρολογικών δεδομένων. Παρακολουθεί και ελέγχει τις ποιοτικές παραμέτρους και την ποσοτική κατάσταση των υδάτων, την οικολογική κατάσταση των επιφανειακών υδάτων, καθώς και την κατάσταση των προστατευόμενων περιοχών.
6. Λαμβάνει όλα τα αναγκαία μέτρα για να πραγματοποιείται ανάλυση των χαρακτηριστικών της κάθε περιοχής λεκάνης απορροής ποταμού, επισκόπηση των επιπτώσεων των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων στην κατάσταση των επιφανειακών και υπογείων υδάτων και οικονομική ανάλυση της χρήσης των υδάτων.
7. Μεριμνά για τον έλεγχο των σημειακών και διάχυτων εκπομπών ρύπων στα επιφανειακά, υπόγεια και παράκτια ύδατα.
8. Εφαρμόζει Πρόγραμμα Μέτρων Προστασίας από τη ρύπανση, καθώς και απορρύπανσης των υδάτων.
9. Επιβάλλει μέτρα για την προστασία των υπογείων υδάτων και την αντιμετώπιση αυξητικών τάσεων που προκύπτουν από ανθρώπινες δραστηριότητες στις συγκεντρώσεις ουσιών στα υπόγεια ύδατα.
10. Επιβάλλει σε υφιστάμενα ή σε νέα έργα και δραστηριότητες που είναι πιθανό να υποβαθμίσουν τα ύδατα τους περιορισμούς και τα μέτρα που είναι πρόσφορα για την προστασία τους.

2.3 Αξιοποίηση υδατικών πόρων

Στην Ελλάδα, οι μικρής κλίμακας λεκάνες απορροής σε συνδυασμό με το ξηρό κλίμα περιορίζουν αισθητά τις δυνατότητες αξιοποίησης των επιφανειακών ροών. Το γεγονός αυτό επιτείνεται από τη συγκέντρωση της ζήτησης το καλοκαίρι, γεγονός που προσθέτει πολλές ιδιαιτερότητες στις πρακτικές διαχείρισης και προστασίας των υδατικών πόρων στην Ελλάδα.

Κάθε καταναλωτική χρήση νερού αποτελεί εκτροπή νερού από το φυσικό σύστημα σε ένα τεχνητό σύστημα σε άλλη γεωγραφική θέση. Ωστόσο, συμβατικά χαρακτηρίζεται ως εκτροπή η μεταφορά του νερού σε άλλη υδρολογική λεκάνη ή άλλο υδατικό διαμέρισμα. Αν οι ταμειυτήρες είναι έργα που ρυθμίζουν τη χρονική μεταβλητότητα των υδατικών πόρων, τα έργα εκτροπής αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της γεωγραφικής μεταβλητότητας. Στην Ελλάδα, σε περιοχές όπου το πρόβλημα της γεωγραφικής μεταβλητότητας είναι έντονο, αλλά και με εντατική ζήτηση, οι εκτροπές νερού αποτελούν αναπόφευκτη λύση. Από τις υπό μελέτη ή κατασκευή εκτροπές, τη μεγαλύτερη σημασία έχει η δεύτερη εκτροπή του Αχελώου (από το φράγμα Συκιάς) προς τη Θεσσαλία (Κουτσογιάννης, 1999).

Στην Ελλάδα, η συχνή έλλειψη κεντρικού προγραμματισμού και σχεδιασμού για την αξιοποίηση των υδατικών πόρων, η δυσλειτουργία του κρατικού μηχανισμού σε συνδυασμό με τη ανάγκη σοβαρής και μακρόχρονης μελετητικής προετοιμασίας, μέχρι να ξεκινήσει η υλοποίηση ενός μεγάλου έργου, το μεγάλο αρχικό κόστος και η δυσκολία χρηματοδότησης τέτοιων έργων, συντελούν στην αδυναμία σωστής διαχείρισης των υδατικών πόρων.

Μεταξύ των στόχων της Διαχείρισης των Υδατικών Πόρων ως κυριότεροι αναφέρονται οι ακόλουθοι (Μυλόπουλος, 2006):

1. Η διευθέτηση της φυσικής προσφοράς του νερού σε σχέση με τη ζήτηση. Η γνώση των φυσικών μηχανισμών της ανανέωσης των υδατικών αποθεμάτων στο πλαίσιο του υδρολογικού κύκλου, η προσομοίωση της λειτουργίας των υδατικών συστημάτων και η πρόγνωση της συμπεριφοράς τους για διάφορα πιθανά σενάρια μετεωρολογικών και υδρολογικών συνθηκών, οδηγεί στον πλήρη και σαφή προσδιορισμό του υπάρχοντος υδατικού δυναμικού και βοηθά στην αντικειμενική εκτίμηση των δυνατοτήτων του. Αποτέλεσμα αυτής της σύνθετης διαδικασίας είναι η καλύτερη αξιοποίησή του διαθέσιμου υδατικού δυναμικού, αλλά και η δυνατότητα αναζήτησης και εντοπισμού νέων πηγών νερού, προκειμένου να καλυφτούν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο οι σημερινές και οι μελλοντικές ανάγκες σε νερό. Ο σχεδιασμός και η εκτέλεση έργων συλλογής, αποθήκευσης, μεταφοράς, διανομής και εκμετάλλευσης των υδατικών πόρων, αποτελεί το τελευταίο στάδιο αυτής της διαδικασίας αξιοποίησης και διευθέτησης της φυσικής προσφοράς του νερού σε σχέση με τη ζήτηση.
2. Η διευθέτηση της ζήτησης του νερού σε σχέση με τη διαθεσιμότητα των υδατικών πόρων. Ο καθορισμός δηλαδή στην πράξη των αναγκών και δραστηριοτήτων που καταναλίσκουν νερό, σύμφωνα με τις υπάρχουσες φυσικές δυνατότητες των υδατικών πόρων. Η καταγραφή των υπαρχουσών χρήσεων του νερού αφενός και η γνώση του διαθέσιμου υδατικού δυναμικού και των δυνατοτήτων του αφετέρου, έχει ως αποτέλεσμα τη δυνατότητα χάραξης πολιτικής νερού, με την έννοια της προσαρμογής των αναπτυξιακών προγραμμάτων και των σχετικών επενδύσεων στις φυσικές δυνατότητες των υπό μελέτη περιοχών.
3. Η αντιμετώπιση των «ανοιγμάτων» ανάμεσα σε προσφορά και ζήτηση του νερού. Η εκπόνηση υδατικών ισοζυγίων και ισοζυγίων προσφοράς και ζήτησης νερού σε επίπεδο υδρολογικής λεκάνης ή και υδατικού διαμερίσματος, αποτελεί την υποδομή που απαιτείται για τον έγκαιρο εντοπισμό και την αποτελεσματική αντιμετώπιση των τυχόν ανοιγμάτων ανάμεσα σε προσφορά και ζήτηση του νερού.
4. Η εξομάλυνση των συγκρούσεων ανάμεσα στις ανταγωνιστικές χρήσεις. Οι δραστηριότητες που καταναλίσκουν νερό είναι άμεσα ανταγωνιστικές, με την έννοια ότι η ικανοποίηση των αναγκών κάποιας από αυτές συνήθως αποκλείει τη δυνατότητα ικανοποίησης των αναγκών κάποιων άλλων, μια και οι υδατικοί πόροι είναι πεπερασμένοι ποσοτικά και επιπλέον στην ανανέωσή τους δεν υπάρχει δυνατότητα επέμβασης και ελέγχου. Έτσι η διαχείριση των υδατικών πόρων ισοδυναμεί με μια διαδικασία αξιολόγησης αναγκών, ιεράρχησης προτεραιοτήτων και επίλυσης διαφορών, προκειμένου να ικανοποιούνται οι ανάγκες κατά τρόπο δίκαιο, ωφέλιμο και ορθολογικό.
5. Η προστασία και διατήρηση της ποιότητας του νερού. Η δραστηριότητα αυτή θεωρείται πρωταρχική για τη διαχείριση των υδατικών πόρων και όχι μόνον για τους προφανείς λόγους της περιβαλλοντικής προστασίας και της διατήρησης της

οικολογικής ισορροπίας. Θεωρείται σημαντική διότι η προστασία και διατήρηση της ποιότητας του νερού σε ανεκτά επίπεδα αποτελεί την απαραίτητη προϋπόθεση για την κάλυψη της ζήτησης και την ικανοποίηση των αναγκών. Αυτός είναι και ο λόγος που στη σύγχρονη νομοθεσία η ρύπανση του νερού λογίζεται ως μια ακόμη, ανταγωνιστική με τις υπόλοιπες δραστηριότητες χρήση, μια και πρακτικά έχει τη δυνατότητα να δεσμεύει τους υδατικούς πόρους και να εμποδίζει την περαιτέρω αξιοποίησή τους. Ο σχεδιασμός λοιπόν των έργων προστασίας ή και αποκατάστασης των υδατικών πόρων, καθώς και η εκτίμηση των επιπτώσεων στα υδατικά συστήματα από την εκτέλεση και λειτουργία των υδραυλικών ή και των άλλου είδους τεχνικών έργων, αποτελεί σημαντική προτεραιότητα και πρέπει να εξετάζεται σύμφωνα με το πνεύμα και τις αρχές της Διαχείρισης των Υδατικών Πόρων.

6. Η Βιώσιμη ή Αειφόρος Ανάπτυξη, σύμφωνα με την οποία η προσπάθεια για κάλυψη των σημερινών αναγκών δεν υπονομεύει την αντίστοιχη προσπάθεια και των μελλοντικών γενιών να καλύψουν τις δικές τους ανάγκες. Ξεκινώντας από την ανάγκη διασφάλισης της προτεραιότητας της ζωής εντός οικολογικών ορίων, δεν απορρίπτει τη συμβολή της επιστήμης και την αισιόδοξη προοπτική της προόδου, αντιμετωπίζοντας κριτικά ένα παρελθόν όπου κυριαρχούσαν μονότονα οι αρχές της τεχνολογικής προόδου, της επιστημονικής εξειδίκευσης και της οικονομικής ανάπτυξης.

Η πολιτική της Διαχείρισης και Προστασίας των υδατικών συστημάτων, θα πρέπει εκτός από την ορθολογική αξιοποίηση του νερού για την κάλυψη των αναγκών, να ενσωματώσει στη διαδικασία της τόσο την προστασία και τη διατήρηση του υδατικού περιβάλλοντος, όσο και τη συντήρηση της ίδιας της ζωής στα όρια του υδατικού οικοσυστήματος. Αυτό επιτυγχάνεται με την ολοκληρωμένη διαχείριση του υδατικού οικοσυστήματος, με πνεύμα πρόβλεψης και έγκαιρης επέμβασης. Η πρακτική αυτή εγγυάται την ακεραιότητα του υδατικού συστήματος και την υγιή ανάπτυξή του, προστατεύοντας τη ζωή και εξασφαλίζοντας και τη μελλοντική συντήρησή της. Συγχρόνως, δίνοντας έμφαση στην πολιτική της έγκαιρης επέμβασης και της πρόληψης, η ολιστική προσέγγιση οδηγεί σε οικονομικότερη αντιμετώπιση σε μακροχρόνια κλίμακα, καθώς με αυτήν αποφεύγονται οι πολύπλοκες και εξαιρετικά δαπανηρές λύσεις αποκατάστασης και επαναφοράς των υδατικών συστημάτων.

2.4 Φορείς διαχείρισης υδατικών πόρων στην Ελλάδα

Στα συλλογικά εγγειοβελτιωτικά έργα στην Ελλάδα η διαχείριση των υδατικών πόρων γίνεται από 452 φορείς που είναι υπεύθυνοι για τη διοίκηση, λειτουργία και συντήρηση των δικτύων αυτών. Οι οργανισμοί εγγείων βελτιώσεων διακρίνονται σε:

- Δέκα (10) Γενικούς Οργανισμούς Εγγείων Βελτιώσεων (ΓΟΕΒ)
- Τετρακόσιους δώδεκα (412) Τοπικούς Οργανισμούς Εγγείων Βελτιώσεων (ΤΟΕΒ)
- Δύο (2) Ειδικούς Οργανισμούς
- Είκοσι δύο (22) Διοικούσες Επιτροπές
- Έξι (6) Τοπικές Επιτροπές Άρδευσης

2.4.1 Τοπικοί οργανισμοί εγγείων βελτιώσεων

Οι ΤΟΕΒ αποτελούν Νομικά Πρόσωπα Ιδιωτικού Δικαίου. Πρόκειται για αναγκαστικούς συνεταιρισμούς μη κερδοσκοπικών οργανισμών με ανταποδοτική λειτουργία. Με τον Ν. 3852/2010 η εποπτεία των ΤΟΕΒ μεταβιβάζεται στους Δήμους, εντός των διοικητικών ορίων, των οποίων λειτουργούν. Κάθε ΤΟΕΒ έχει σκοπό την έγγειο βελτίωση των αγροκτημάτων των μελών του, τα οποία βρίσκονται μέσα στην περιοχή της δικαιοδοσίας του. Η περιοχή δικαιοδοσίας μπορεί να μεταβάλλεται ανάλογα με την επέκταση ή τον περιορισμό των εκτάσεων που εξυπηρετούνται από τα έργα δικαιοδοσίας του. Η χρονική διάρκεια του ΤΟΕΒ είναι απεριόριστη.

2.5 Συνιστώσες Διαχείρισης Υδατικών Πόρων

Η διαχείριση των υδατικών πόρων έχει πάρει διάφορες μορφές και κατευθύνσεις στην ιστορία της ανθρωπότητας. Η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση έπρεπε να ικανοποιηθεί με οποιοδήποτε τρόπο. Η σύγχρονη αντίληψη υποστηρίζει τη διαχείριση ζήτησης και όχι προσφοράς, η οποία αποτελεί θεμέλιο της παρούσας εργασίας. Για να επιτευχθεί η διαχείριση της ζήτησης, πρέπει να βελτιστοποιηθεί η απόδοση δικτύου και μεθόδου άρδευσης, ώστε να μειωθούν οι απώλειες, τόσο για τη μεταφορά του νερού όσο και για τη χρήση του.

Όταν οι απαιτήσεις των καλλιεργειών δεν μπορούν να καλυφθούν επαρκώς με φυσικό τρόπο, δηλαδή μέσω της βροχόπτωσης, του υπόγειου νερού και του νερού που είναι αποθηκευμένο στο έδαφος, είναι αναγκαίο να δοθεί πρόσθετο νερό με άρδευση. Εκτός από καθαρές απαιτήσεις σε νερό που πρέπει να καλυφθούν με άρδευση, απαιτούνται και επιπλέον ποσότητες νερού τόσο για την έκπλυση των αλάτων που συγκεντρώνονται σαν συνέπεια της άρδευσης, όσο και για την κάλυψη των απωλειών κατά τη μεταφορά του νερού και την εφαρμογή του στην αρδευόμενη έκταση.

Ο στόχος λοιπόν των αρδευτικών έργων είναι να καλυφθεί αυτή η ανισοκατανομή με σκοπό οι καλλιέργειες να προσλαμβάνουν συμπληρωματικά και με τεχνητό τρόπο τις αναγκαίες ποσότητες νερού. Η αποδοτικότητα εφαρμογής πρέπει να πλησιάζει όσο το δυνατόν τη μονάδα, δηλαδή οι απώλειες κατά την εφαρμογή να ελαχιστοποιούνται, εφαρμόζοντας ομοιόμορφη κατανομή του νερού στην αρδευόμενη επιφάνεια για την απαραίτητη διάρκεια ώστε να διηθηθεί στο έδαφος ποσότητα ίση με την ωφέλιμη υγρασία.

Ένα τυπικό αρδευτικό έργο αποτελείται από τις εξής παραμέτρους:

- Έργα συλλογής νερού. Τα έργα αυτά μπορεί να είναι συστήματα γεωτρήσεων, φράγματα υδροσυλλογής, λιμνοδεξαμενές ή και συνδυασμός αυτών
- Έργα αποθήκευσης νερού. Μπορεί να είναι ταμιευτήρες με σκοπό την κάλυψη της εποχιακής ανισοκατανομής του νερού, ή και δεξαμενές 24ωρης εξισορρόπησης νερού.
- Δίκτυο μεταφοράς νερού. Ήταν συνήθως επιφανειακές διώρυγες μεταφοράς νερού. Σήμερα κατασκευάζονται κλειστά και υπό πίεση.
- Δίκτυο διανομής νερού. Ομοίως είναι και αυτό ένα δίκτυο κλειστών αγωγών υπό πίεση.
- Σύστημα εφαρμογής νερού στο έδαφος. Εγκαταστάσεις, κατασκευές και όργανα που χρησιμοποιούνται για την άρδευση.

Ένα δίκτυο άρδευσης είναι το σύνολο των έργων μεταφοράς, μέτρησης και διανομής νερού που πρέπει να κατασκευαστούν ώστε το νερό ξεκινώντας από το σημείο διάθεσής του να καταλήγει σε κάθε αρδευτική μονάδα, με την απαιτούμενη παροχή και φορτίο στο χρόνο που απαιτείται. Τα δίκτυα αυτά, ανάλογα με τον τρόπο μεταφοράς του νερού διακρίνονται σε ελεύθερης επιφάνειας (ανοικτών αγωγών) και υπό πίεση (κλειστών αγωγών). Ο τρόπος με τον οποίο το νερό εφαρμόζεται στις καλλιέργειες αποτελεί τη μέθοδο άρδευσης. Μια άρδευση κρίνεται επιτυχής αν το νερό εφαρμοστεί ομοιόμορφα σε όλο το αγροτεμάχιο και παραμένει τόσο χρόνο όσο χρειάζεται (Μυλόπουλος, 2006).

Οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι άρδευσης είναι:

➤ Επιφανειακές Μέθοδοι

Στις επιφανειακές μεθόδους άρδευσης το νερό εφαρμόζεται στην αρδευόμενη έκταση είτε στατικά είτε κινούμενο. Όταν το νερό εφαρμόζεται στατικά πρόκειται για οριζόντια άρδευση, διότι η επιφάνεια της αρδευόμενης έκτασης είναι πρακτικά οριζόντια, και σε αυτήν ανήκει η μέθοδος της κατακλύσεως ή των λεκανών. Όταν το νερό εφαρμόζεται κινούμενο πρόκειται για κεκλιμένη άρδευση, διότι η επιφάνεια της αρδευόμενης έκτασης παρουσιάζει κάποια κλίση που οδηγεί σε κίνηση του νερού προς τα κάτω, και σε αυτήν περιλαμβάνονται η μέθοδος της περιορισμένης διαχύσεως ή των παράλληλων λωρίδων και η μέθοδος των αυλακών.

➤ Άρδευση με καταιονισμό

Στη μέθοδο του καταιονισμού γίνεται εφαρμογή νερού σε όλη την αρδευόμενη επιφάνεια μέσω καταιονιστήρων σαν τεχνητή απομίμηση βροχής. Το νερό διηθείται στο έδαφος κατακόρυφα υπό ακόρεστες συνθήκες ροής. Σε σωστά σχεδιασμένο σύστημα η κατανομή του νερού στην αρδευόμενη έκταση γίνεται ομοιόμορφα, χωρίς να λιμνάζει και χωρίς επιφανειακή απορροή. Σαν μέθοδος μπορεί να προσαρμοστεί για άρδευση όλων σχεδόν των εμπορεύσιμων καλλιεργειών και σε μεγάλη ποικιλία εδαφικών συνθηκών. Συνίσταται ιδιαιτέρως για σχετικά μικρή διαθέσιμη παροχή αρδεύσεως και εδάφη πολύ διαπερατά, ανομοιόμορφα, αβαθή, με υψηλή υπόγεια στάθμη, μεγάλη κλίση και ανώμαλη τοπογραφία.

➤ Στάγδην Άρδευση

Στη μέθοδο με σταγόνες ή στάγδην άρδευση το νερό εφαρμόζεται στο έδαφος σε μικρές ποσότητες με τη μορφή σταγόνων σε επιλεγμένα σημεία του εδάφους μέσω σταλακτήρων και διηθείται τόσο κατακόρυφα όσο και πλευρικά κάτω από ακόρεστες συνθήκες εδαφικής υγρασίας, έτσι ώστε κάθε φυτό χωριστά να εφοδιάζεται με την απαραίτητη για την κανονική του ανάπτυξη και απόδοση υγρασία. Ένα ολοκληρωμένο σύστημα στάγδην άρδευσης αποτελείται από δίκτυα μεταφοράς, δίκτυα εφαρμογής και τη μονάδα ελέγχου.

Επιπλέον, η χρήση οικονομικών εργαλείων που να επιφέρει ικανοποιητικά κέρδη για τους αγρότες, αλλά και η θέσπιση οικονομικών στόχων για σχέδια βελτίωσης που μπορούν να φέρουν εις πέρας οι κρατικοί μηχανισμοί, αποσκοπούν στην ολοκληρωμένη διαχείριση επιτυγχάνοντας κοινωνική αποδοχή και εφαρμοσιμότητα. Πέραν της ποσοτικής διαχείρισης εξίσου σημαντική είναι και η ποιοτική ανάλυση και αναβάθμιση, τόσο περιβαλλοντικά όσο και ποσοτικά καθώς πολλές φορές το νερό ίσως να μην πληροί προϋποθέσεις άρδευσης. Η χρήση οικονομικών εργαλείων, καθώς και η ποιοτική αναβάθμιση θα αναλυθούν εκτενώς και στα επόμενα κεφάλαια. Κάθε πρόταση συσχετίζεται με την ανταπόκριση των υπεύθυνων υπηρεσιών με σκοπό να τη φέρουν εις πέρας εφαρμόζοντας μελέτες που αποτελούν χρήσιμο εργαλείο για μια πιο ολοκληρωμένη νοοτροπία διαχείρισης.

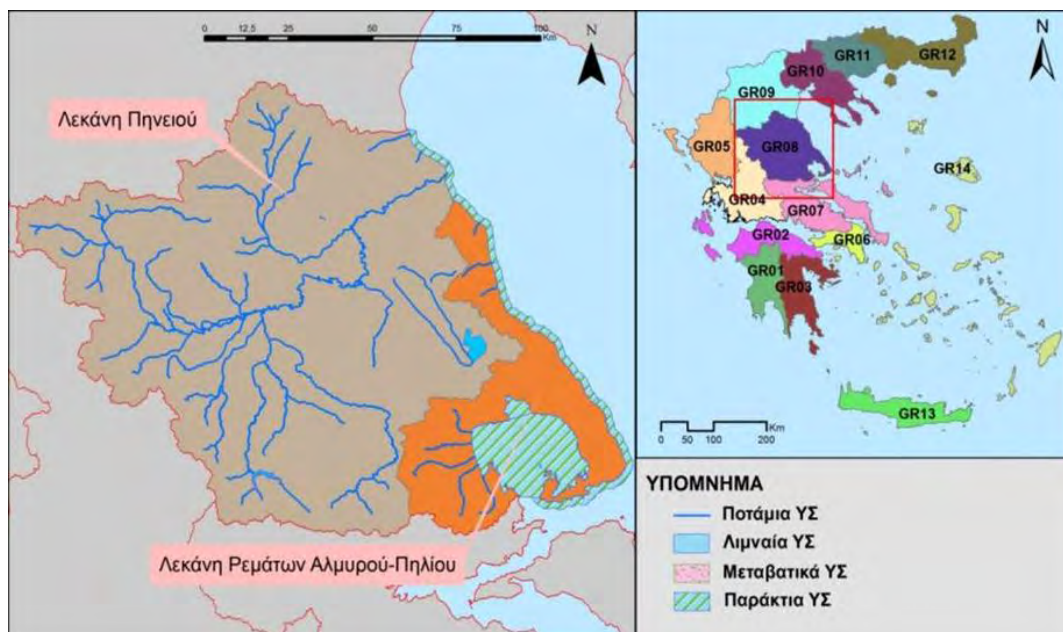
3 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

3.1 Θέση και έκταση λεκάνης απορροής λίμνης Κάρλας

Το Υδατικό Διαμέρισμα της Θεσσαλίας (GR08) περιλαμβάνει τις Λεκάνες Απορροής Πηνειού (GR 16) και Αλμυρού-Πηλίου (GR 17). Η συνολική επιφάνειά του είναι ίση με 13.136 km². Περικλείει το νομό Λάρισας, πολύ μεγάλο μέρος των νομών Μαγνησίας, Καρδίτσας και Τρικάλων και μικρά τμήματα των νομών Πιερίας, Γρεβενών (βόρεια) και Φθιώτιδας (νότια), όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.1.

Η λεκάνη της λίμνης Κάρλας ανήκει στη λεκάνη απορροής του Πηνειού και βρίσκεται στα νοτιοανατολικά του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας, ανάμεσα στις πόλεις του Βόλου και της Λάρισας. Είναι μια κλειστή λεκάνη περιβαλλόμενη από ορεινούς όγκους, μήκους 35 χιλιομέτρων και πλάτους 15 χιλιομέτρων. Έχει έκταση 1.660 km² και το υψόμετρό της κυμαίνεται στα +40 m. έως και τα +2000 m. Τα όρια της αποτελούν ο ποταμός Πηνειός και το όρος Όσσα στο βορρά, η πεδιάδα της Αγιάς και το όρος Μαυροβούνι στα ανατολικά, το βόρειο Πήλιο και το όρος Μεγαβούνι στα νότια, το όρος Χαλκοδόνη στα νοτιοδυτικά και στα ανατολικά οι λοφοσειρές των οικισμών Ν. Περιβόλι, Νέα Λεύκη της Λάρισας και το υπόλοιπο πεδινό τμήμα αυτής από τη Νέα Λεύκη ως τη Λάρισα (Σιδηρόπουλος, 2014).

Χαρακτηρίζεται ως καθαρά αγροτική λεκάνη, μιας και σχεδόν το 60% της έκτασής της καταλαμβάνεται από καλλιέργειες. Δεν εντοπίζεται κάποιο αστικό κέντρο εντός των ορίων της, ούτε και κάποια βιομηχανική περιοχή. Μετά το 1950, με την κατασκευή του Συλλεκτήρα Σ1 αποκόπηκε τμήμα της λεκάνης και η έκταση της λεκάνης απορροής της Κάρλας είναι πλέον 1.173 km². Η σήραγγα της Κάρλας, η οποία κατασκευάστηκε για την αποξήρανση της λίμνης το 1960 αποτελεί τη μόνη διέξοδο των επιφανειακών υδάτων της λεκάνης στη θάλασσα. Συγκεκριμένα η σήραγγα καταλήγει στον Παγασητικό Κόλπο, εντός της πόλης του Βόλου (Σιδηρόπουλος, 2014)



Εικόνα 3. 1 Θέση, όρια και λεκάνες του ΥΛ Θεσσαλίας.



Εικόνα 3. 2 Χάρτης υδρολογικής λεκάνης απορροής της λίμνης Κάρλας.

3.2 Μετεωρολογικά στοιχεία και κλίμα

Η Ελλάδα υπάγεται στις μέτρια εύκρατες έως υποτροπικές ζώνες και ειδικότερα στον τύπο του Μεσογειακού κλίματος. Το υδατικό διαμέρισμα διαιρείται σε τρεις περιοχές: την ανατολική παράκτια και ορεινή, με μεσογειακό κλίμα, την κεντρική πεδινή, με ηπειρωτικό κλίμα και τη δυτική ορεινή, με ορεινό κλίμα. Το κλίμα της περιοχής μελέτης κατατάσσεται στο Μεσογειακό ηπειρωτικού χαρακτήρα, με ζεστά και ξηρά καλοκαίρια και με ψυχρούς και υγρούς χειμώνες.

Το διαμέρισμα παρουσιάζει απλή γεωμορφολογική εικόνα, με τα ορεινά τμήματά του περιμετρικά και τα πεδινά στις κεντρικές περιοχές. Το Θεσσαλικό Πεδίο που αποτελεί το μεγαλύτερο τμήμα του υδατικού διαμερίσματος, είναι τεκτονικό βύθισμα που περιβάλλεται από τις οροσειρές Ολύμπου – Καμβουνίων στα βόρεια, Πίνδου στα δυτικά, Όθρυος στα νότια και Πηλίου – Όσσας στα ανατολικά (Sidiropoulos, 2016).

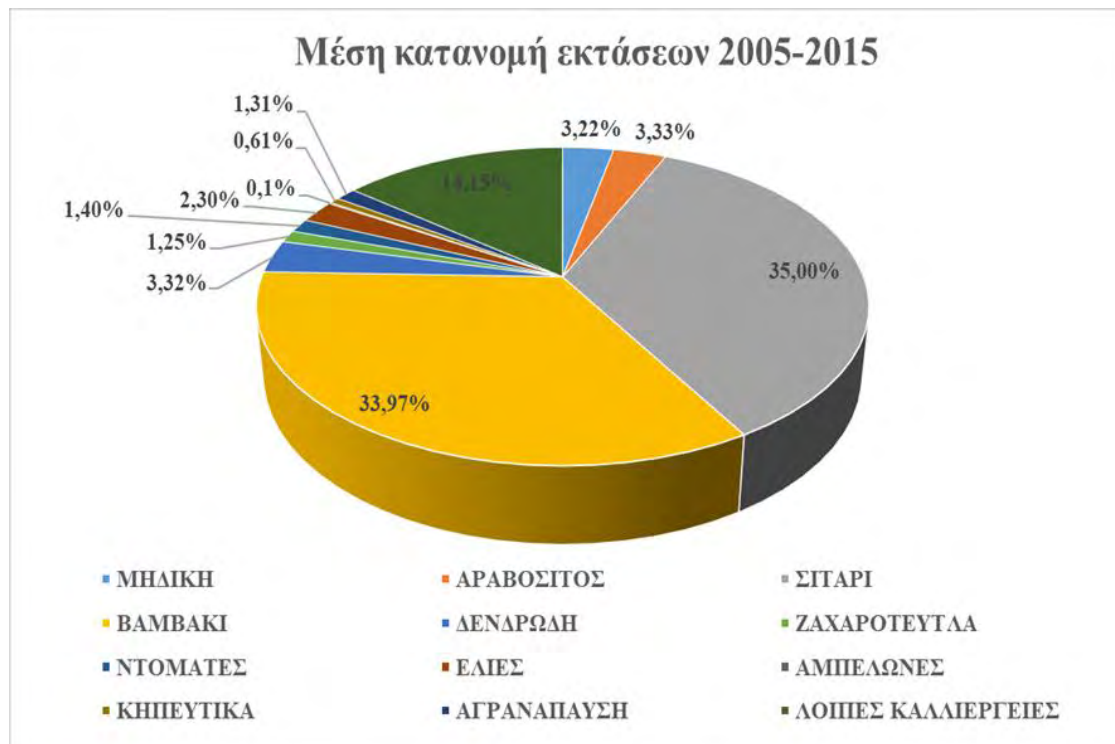
Η μέση ετήσια θερμοκρασία κυμαίνεται στους 16 με 17°C, ενώ το ετήσιο θερμομετρικό εύρος ξεπερνά τους 22°C. Πιο θερμοί μήνες είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος και πιο ψυχροί ο Ιανουάριος, ο Φεβρουάριος και ο Δεκέμβριος. Συχνοί είναι οι παγετοί και εμφανίζονται κατά την περίοδο Νοεμβρίου-Απριλίου.

Το ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων είναι σχετικά μεγάλο στα δυτικά, μειώνεται στο πεδινό κεντρικό τμήμα και αυξάνεται ξανά στο ανατολικό ορεινό τμήμα. Συνολικά για το Υδατικό Διαμέρισμα η μέση ετήσια επιφανειακή βροχόπτωση εκτιμάται στα 678 mm . Οι πιο βροχεροί μήνες είναι οι Οκτώβριος, Νοέμβριος, Δεκέμβριος και Ιανουάριος ενώ οι πιο ξηροί ο Ιούλιος και ο Αύγουστος (ΥΠΕΚΑ, 2012).

3.3 Χρήσεις γης

Η κύρια αγροτική δραστηριότητα στη λεκάνη απορροής της λίμνης Κάρλας, σχετίζεται με την γεωργία και κτηνοτροφία, με το ποσοστό άρδευσης να αντιστοιχεί στο 86% (Αλαμάνος, 2017). Οι κύριες καλλιέργειες της λεκάνης Κάρλας είναι το βαμβάκι, σιτηρά, και σε μικρότερο ποσοστό αραβόσιτος, ζαχαρότευτλα, λαχανικά και δενδρώδεις καλλιέργειες.

Παρακάτω παρατίθενται οι χρήσεις γης σύμφωνα τη χρονοσειρά 2005-2015, στην περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας.



Σχήμα 3. 1 Μέση κατανομή εκτάσεων για την περίοδο 2005-2015.

3.4 ΤΟΕΒ

Στη λεκάνη της Κάρλας υφίστανται δύο δίκτυα άρδευσης, την χρήση των οποίων έχουν οι Τοπικοί Οργανισμοί Εγγείων Βελτιώσεων (ΤΟΕΒ) Πηνειού και Κάρλας, αντίστοιχα. Η περιγραφή των αρδευτικών εκτάσεων γίνεται με βάση τους ΤΟΕΒ και καθένας από τους οποίους εποπτεύει τη λειτουργία των εγχειοβελτιωτικών έργων σε μια δεδομένη περιοχή.

3.5 Δίκτυα άρδευσης

Στη λεκάνη της Κάρλας υφίστανται δύο δίκτυα άρδευσης. Το βασικό δίκτυο του ΤΟΕΒ Πηνειού εξυπηρετεί μια έκταση 154.000 στρεμμάτων, μέσω των ταμιευτήρων άρδευσης, καταλαμβάνοντας το βορειοδυτικό τμήμα της λεκάνης. Πηγή τροφοδοσίας των ταμιευτήρων αποτελεί ο Πηνειός σε μεγάλο ποσοστό και σε μικρότερο ποσοστό τα υπόγεια ύδατα, με τις επιφανειακές απορροές. Τόσο το επιφανειακό νερό, όσο και το υπόγειο προέρχονται από τη λεκάνη απορροής του Πηνειού και όχι της Κάρλας. Η έκταση που εξυπηρετείται από το συγκεκριμένο δίκτυο εναλλάσσεται από χρονιά σε χρονιά και αυτό εξαρτάται από το επιφανειακό υδατικό δυναμικό του Πηνειού, κάνοντας την άρδευση ελλειμματική σε χρονιές ανομβρίας. Η κάλυψη των αρδευτικών αναγκών από το δίκτυο του ΤΟΕΒ Πηνειού έχει ληφθεί υπόψη κατά τον υπολογισμό των υδατικών αναγκών. Το δίκτυο αποτελείται από ανοιχτές χωμάτινες τάφρους με αρκετή βλάστηση και ελλιπής συντήρηση, καθιστώντας τις απώλειες ύδατος σημαντικές (Sidiropoulos, 2016).

Το ΤΟΕΒ Κάρλας εξυπηρετεί μια μικρή έκταση καλλιεργειών, η οποία ίσα που φτάνει τα 10000 στρέμματα, ανάμεσα στους οικισμούς Στεφανοβίκειο και Ριζόμυλο και στις τάφρους 3Τ και 2Τ. Στην πραγματικότητα δεν υπάρχει δίκτυο διανομής του νερού, όπως του ΤΟΕΒ Πηνειού, αλλά ο ΤΟΕΒ Κάρλας έχει στην κυριότητά του έναν αριθμό

αρδευτικών γεωτρήσεων με την κάθε μία να εξυπηρετεί μια συγκεκριμένη έκταση καλλιεργειών γύρω από αυτήν. Ο ΤΟΕΒ Κάρλας, μελλοντικά θα υδροδοτείται από τη Λίμνη Κάρλα, ώστε να μειωθεί η άντληση του αρδευτικού νερού από τον υπόγειο υδροφόρο. Με τον τρόπο αυτό θα εμπλουτιστεί ο υπόγειος υδροφόρος ώστε τουλάχιστον να περιοριστεί η ποιοτική υποβάθμισή του (Σιδηρόπουλος, 2014).

3.6 Λίμνη

Η λίμνη Κάρλα, υπήρξε μία από τις μεγαλύτερες και οικολογικά σημαντικότερες λίμνες της Ελλάδας, με πλούσιο ιχθυοπληθυσμό, πάνω στον οποίο στηρίχθηκε το εμπόριο της αλιείας από τους κατοίκους των γύρω οικισμών. Αποτελούσε έναν από τους κυριότερους σταθμούς των μεταναστευτικών πουλιών για την Ελλάδα και καθιστούσε την ευρύτερη περιοχή πλούσια από υδρολογική άποψη.

Η τροφοδοσία της οφειλόταν στα πλημμυρικά νερά του Πηνειού, μέσω του ρέματος Ασμακίου (8Τ) και των απορροών των γύρω ορεινών όγκων, μιας και δεν υπήρχε επιφανειακή διαφυγή αυτών στη θάλασσα. Σχηματιζόταν από τα ποτάμια που πήγάζαν κυρίως από την Όσσα. Βρίσκονταν στους πρόποδες της βόρειας προέκτασης της οροσειράς του Πηλίου που λέγεται Μαυροβούνι. Πρόκειται για μια αβαθή λίμνη (2 – 6 μ. βάθος) και καταλάμβανε μία μέση έκταση 200.000 στρεμμάτων, ενώ τα νεότερα χρόνια η έκτασή της, σύμφωνα με στοιχεία του ΥΠΕΧΩΔΕ, μεταβαλλόταν από χρονιά σε χρονιά και κυμαινόταν αναλόγως με τα πλημμυρικά νερά του Πηνειού και των απορροών των γύρω ορεινών όγκων. Η λίμνη οριοθετούνταν βορειοανατολικά από τις λοφώδεις εξάρσεις της οροσειράς Μαυροβουνίου, νότια, του Πηλίου, ενώ βορειοδυτικά, δυτικά έως νοτιοδυτικά δεν ήταν σαφή τα όρια (Σιδηρόπουλος, 2014).

Η λίμνη είχε τη μεγαλύτερη έκταση τον χειμώνα του 1920-1921, λόγω των μεγάλων πλημμυρών του ποταμού Πηνειού την περίοδο αυτή. Η δεύτερη σε μέγεθος μεγαλύτερη έκταση που κατέλαβε η λίμνη ήταν κατά τη διάρκεια του χειμώνα 1930-1931, όταν η επιφάνειά της ανήλθε στα 49,25 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας και είχε έκταση 145.000 στρέμματα. Η κατασκευή των νέων αντιπλημμυρικών αναχωμάτων στον ποταμό Πηνειό το 1940 περιόρισε την υπερχειλίση του και σε συνέπεια την επιφάνεια της λίμνης. Σήμερα έχει δημιουργηθεί η λίμνη και γίνεται προσπάθεια της ορθής λειτουργίας της, ενώ έχει μέγεθος 38.000 στρέμματα (ΥΠΕΚΑ, 2012).

Όπως αναφέρθηκε, κύρια πηγή τροφοδοσίας της ήταν ο Πηνειός. Έτσι σε χρονιές ανομβρίας η λίμνη είχε ως αποτέλεσμα να αποξηρανθεί τελείως. Σύμφωνα με καταγραφές αποξηράνθηκε δύο φορές το διάστημα 1860 – 1880 και από τότε άλλες δύο τον Ιούλιο του 1899 και το 1908. Η τελική της αποξήρανση, η οποία ήταν τεχνητή έγινε το 1962, μέσω της σήραγγας της Κάρλας (Σιδηρόπουλος, 2014).

Η πολύτιμη συνεισφορά της λίμνης μπορεί να κατηγοριοποιηθεί γενικά στα κάτωθι:

- απομάκρυνση και μετατροπή των θρεπτικών στοιχείων
- παγίδευση των πλημμυρικών νερών
- εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφορέων
- αποθήκευση του νερού στην επιφάνεια της λίμνης και υπογείως για άρδευση
- κατακράτηση των ιζημάτων και των τοξικών ουσιών
- στήριξη των τροφικών αλυσίδων

Το εμβαδόν που καταλάμβανε η λίμνη Κάρλα καθοριζόταν από τις διακυμάνσεις στάθμης, που εξαρτούνταν από τις εισροές και τις εκροές των υδάτων. Οι εισροές υδάτων προέρχονταν από τις βροχοπτώσεις και από τα υπερχειλίζοντα ύδατα του Πηνειού ποταμού κατά τις μεγάλες πλημμύρες του. Εισροές στη λίμνη υπήρχαν και από πηγές και αποστραγγίζονταν με το ρέμα Ασμάκι. Οι εκροές υδάτων από τη λίμνη οφείλονταν αποκλειστικά σχεδόν στην εξάτμιση και ένα μικρό μέρος στις υπόγειες διαφυγές του πυθμένα. Η μικρή κλίση του πυθμένα, είχε ως αποτέλεσμα, ανάλογα με τη σχέση εισροών-εκροών, το εμβαδόν της να κυμαίνεται μεταξύ 40 και 180 km². Έτσι, η παγίδευση πλημμυρικών υδάτων στη λίμνη συνοδευόταν από την κατάκλιση μεγάλων γεωργικών εκτάσεων γύρω από αυτή, ενώ παράλληλα δημιουργούσε προβλήματα στράγγισης και αύξησης της συγκέντρωσης αλάτων στα εδάφη της γύρω περιοχής.

3.7 Αποξήρανση

Στα τέλη του 19ου αιώνα, είχε επικρατήσει η τεχνοκρατική αντίληψη των αποξηράνσεων αρκετών λιμνών, υδροτόπων και βάλτων σε όλη την Ελλάδα (Κωπαΐδα, έλος Γιαννιτσών, πεδιάδα Σερρών), χωρίς καμιά περιβαλλοντική και οικολογική μέριμνα, μιας και τα κίνητρα ήταν η διάθεση γης για την ανάπτυξη της γεωργίας.

Η αποξήρανση έγινε και στη λίμνη Κάρλα. Στον αρχικό σχεδιασμό δεν υπήρχε η ολική αποξήρανση της λίμνης, αλλά η διατήρηση 64.700 στρεμμάτων, όπου θα παρέμενε ως ταμιευτήρας. Η ολική αποξήρανσή της όμως ξεκίνησε το 1962 και ολοκληρώθηκε το 1964, με την κατασκευή μιας σειράς έργων και επικαλώντας τους εξής βασικούς λόγους (Σιδηρόπουλος, 2014):

- Αποφυγή των πλημμυρικών φαινομένων που δημιουργούσε η λίμνη εξαιτίας της συνεχούς μεταβαλλόμενης έκτασης της
- Αντιμετώπιση ασθενειών των ντόπιων που σχετίζονταν με τη λίμνη όπως ελονοσία
- Απόκτηση γεωργικής γης και διάθεσης της σε ντόπιους και πρόσφυγες

Η αποξήρανση της Κάρλας οδήγησε στην αύξηση του εισοδήματος από την παραγωγή στην πεδιάδα της Κάρλας, όχι μόνο λόγω της αύξησης στις καλλιεργούμενες περιοχές και της μείωσης στη ζημία πλημμυρών αλλά και λόγω ακόμα της υψηλότερης ενδυνάμωσης των αγροοικοσυστημάτων. Η αύξηση αυτή όμως δεν κράτησε για αρκετό χρονικό διάστημα. Η άρδευση επεκτάθηκε σχεδόν σε όλες τις εκτάσεις. Το νερό άρδευσης προήλθε από τις βαθιές γεωτρήσεις. Η άντληση ήταν ανεξέλεγκτη. Όλοι οι ψαράδες έχασαν τις εργασίες τους. Τα αγροοικοσυστήματα έχασαν την ποικιλία καλλιεργειών. Τα προβλήματα αλατότητας των εδαφών δημιούργησαν δυσκολίες λόγω της έλλειψης νερού. Οι συνέπειες λόγω παγετού στις καλλιέργειες αυξάνονταν και οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις στη Λάρισα διοχέτευαν μεγάλους όγκους των μη επεξεργασμένων αποβλήτων στις αποχετευτικές τάφρους (Zalidis and Gerakis, 1999).

Οι πιο σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις από την αποξήρανση της λίμνης είναι:

- σημαντική υποβάθμιση της υδρόβιας βλάστησης και του ιχθυοπληθυσμού και απουσία μεταναστευτικών και παρυδάτιων πουλιών
- υποβάθμιση της αισθητικής του τοπίου
- εξάντληση των αποθεμάτων του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα λόγω υπεράντλησης για κάλυψη των αρδευτικών απαιτήσεων

- επιβάρυνση της ποιότητας των υπογείων νερών λόγω εντατικοποίησης των γεωργικών εκμεταλλεύσεων στην περιοχή της πρώην λίμνης
- αρνητικές επιπτώσεις στην ποιότητα και την ποσότητα των επιφανειακών υδάτων
- επιπτώσεις στην ποιότητα των νερών του Παγασητικού Κόλπου, ο οποίος δέχονταν το σύνολο του ρυπαντικού φορτίου από την περιοχή Κάρλας
- υποβάθμιση της ποιότητας των εδαφικών πόρων (ρηγματώσεις, καθιζήσεις, παθογενή εδάφη, κλπ.),
- εξαφάνιση της αλιείας, ενός τομέα εξαιρετικά δυναμικού στην περιοχή
- εμφάνιση πληθυσμιακής συρρίκνωσης των ασθενέστερων οικονομικά οικισμών
- όξυνση των ακραίων κλιματικών φαινομένων
- εμφάνιση συχνών πλημμυρικών φαινομένων εξαιτίας της ανεπαρκούς παροχτευτικής ικανότητας της σήραγγας

Οι αλλαγές των λειτουργιών του υδροτόπου οδήγησαν σε ένα μεγάλο αριθμό περιβαλλοντικών προβλημάτων με αντίκτυπο στην οικονομία της περιοχής. Οι δείκτες κοινωνικής ευμάρειας της περιοχής βρίσκονταν σε διαρκή πτωτική πορεία, η οποία οδηγεί σε τάσεις εγκατάλειψης της περιοχής.

3.8 Ανασύσταση περιοχής

Με βάση το πλάνο που προτάθηκε και μελετήθηκε, σκοπός των έργων ανασύστασης της λίμνης Κάρλας είναι η αποκατάσταση της οικολογικής ισορροπίας της περιοχής αυτής. Ωστόσο, οι κύριοι στόχοι του έργου είναι, η αντιπλημμυρική προστασία της ευρύτερης περιοχής και η αποκατάσταση του, υποβαθμισμένου πλέον, υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, με παράλληλη εξασφάλιση επαρκών ποσοτήτων νερού από γεωτρήσεις για την ύδρευση του Βόλου (Αλαμάνος, 2017).

Ειδικότερα το έργο αποσκοπεί:

- Στη δημιουργία μιας μεγάλης υδροτροπικής έκτασης (λίμνης περιβαλλόμενης από ζώνες ειδικής διαχείρισης), κατάλληλης να υποστηρίξει τον φυσικό (μόνιμο ή εποχικό) εποικισμό της περιοχής με υδροφυτική βλάστηση, ιχθυοπανίδα και με σκοπό τη μερική τουλάχιστον αποκατάσταση του προϋπάρχοντος οικοσυστήματος (υδροβιότοπος) καθώς και την ελαχιστοποίηση της συμβολής των απορροών της λεκάνης Κάρλας στη ρύπανση του Παγασητικού κόλπου.
- Στη δημιουργία προϋποθέσεων και κανόνων για τη σωστή διαχείριση του οικοσυστήματος που θα δημιουργηθεί και των διαθέσιμων υδατικών πόρων.
- Στην αντικατάσταση του υπόγειου νερού των αρδεύσεων με νερό της λίμνης, με σκοπό τη δημιουργία προϋποθέσεων ανάκαμψης της στάθμης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, τη βελτίωση της ποιότητας των εδαφικών πόρων και την αναστολή των φαινομένων απερίμωσης των πεδινών περιοχών.
- Στην ανάσχεση των πλημμυρικών απορροών στις γύρω ορεινές περιοχές για την επιβράδυνση των διαβρωτικών διεργασιών.
- Στην ενίσχυση της ύδρευσης της μείζονος περιοχής Βόλου με καλής ποιότητας υπόγειο νερό.

- Στη δημιουργία υποδομών και κατάλληλων συνθηκών για την πραγματοποίηση νέων, συμβατών με τη βιώσιμη ανάπτυξη, δραστηριοτήτων και απασχόλησης.

Το έργο επαναδημιουργίας της λίμνης Κάρλας αφορά τη δημιουργία μιας μεγάλης υδροτοπικής έκτασης (λίμνης περιβαλλόμενης από ζώνες ειδικής διαχείρισης) και περιλαμβάνει συνοπτικά (Αλαμάνος, 2017):

- Τη δημιουργία τεχνητής λίμνης, μέσου βάθους 4,5 μ., έκτασης 38000 στρ., στο χαμηλότερο τμήμα της άλλοτε λίμνης Κάρλας, τροφοδοτούμενης από τις απορροές των πέριξ λεκανών και από τα χειμερινά νερά του Πηνειού.
- Κατασκευή συλλεκτήρων με τους οποίους επιτυγχάνεται η τροφοδοσία της λίμνης με νερά των πέριξ ορεινών λεκανών και η αντιπλημμυρική προστασία των πεδινών περιοχών.
- Αντλιοστάσια για την άντληση των όμβριων νερών των χαμηλών περιοχών γύρω από τη λίμνη με στόχο την περαιτέρω τροφοδοσία της λίμνης και την αντιπλημμυρική προστασία των περιοχών αυτών.
- Έργα υδροδότησης της λίμνης από τα χειμερινά νερά του Πηνειού, με αντλιοστάσιο για την ανύψωση του νερού πάνω από τα αναχώματα αντιπλημμυρικής προστασίας του ποταμού.
- Έργα βελτιστοποίησης των λειτουργιών της λίμνης ως υδροβιότοπου (3 νησίδες, αβαθή υγρότοπο καθαρισμού νερών αποστράγγισης, έκτασης περίπου 1100 στρ. και αναπαράστασης του παραδοσιακού τρόπου διαβίωσης και αλιείας, παρόχθια φυτικά οικοσυστήματα), όπως καθορίζονται στους εγκεκριμένους Περιβαλλοντικούς Όρους του έργου.
- Έργα υποδομών οικοτουριστικής ανάπτυξης με σκοπό την προσέλκυση επισκεπτών για περιβαλλοντική εκπαίδευση και ήπιες τουριστικές δραστηριότητες καθώς και την προβολή ενός πρότυπου έργου πολλαπλού χαρακτήρα με ισχυρή περιβαλλοντική διάσταση, όπως καθορίζονται στους εγκεκριμένους Περιβαλλοντικούς Όρους του έργου.
- Έργα ορεινής υδρονομίας για την ανάσχεση των επιφανειακών διαβρώσεων των ορεινών πέριξ της λίμνης λεκανών με στόχο τον περιορισμό της μεταφοράς φερτών υλικών που καταλήγουν στο σύστημα συλλεκτήρες-λίμνη, όπως καθορίζονται στους εγκεκριμένους Περιβαλλοντικούς Όρους του έργου.

Δημιουργία φυτικών οικοσυστημάτων στην εξωτερική πλευρά του δυτικού αναχώματος και στο περιμετρικό όριο των ανατολικών και νότιων ακτών της λίμνης σε σημεία που προσφέρονται για την ανάπτυξη της βλάστησης με στόχο την ολοκλήρωση της διαμόρφωσης του υγροτόπου (Αλαμάνος, 2017).

- Έργα μεταφοράς νερού από τη λίμνη στις γειτνιάζουσες πεδινές περιοχές με σκοπό αφ' ενός την αξιοποίησή του για άρδευση υποκαθιστώντας τις αντλήσεις από τον υπόγειο υδροφόρα, αφ' ετέρου την ανανέωση των υδάτων της λίμνης.
- Άρδευτικά δίκτυα στις γύρω από τη λίμνη περιοχές συνολικής έκτασης περίπου 92500 στρ., που σήμερα αρδεύονται ως επί το πλείστον με υπόγεια νερά.
- Έργα ενίσχυσης της ύδρευσης της μείζονος περιοχής Βόλου από τα εξοικονομούμενα νερά του υπόγειου υδροφόρα.

3.9 Συμβολή ταμιευτήρα

Η απόφαση να αποξηρανθεί η λίμνη Κάρλα και να δημιουργηθεί σε τμήμα της ένας ταμιευτήρας μικρότερης έκτασης ήταν, σύμφωνα με όλες τις προηγούμενες μελέτες, η πλέον κατάλληλη για την απόκτηση γεωργικών εκτάσεων, την αντιπλημμυρική προστασία και την άρδευση της ευρύτερης περιοχής. Η μη ολοκλήρωση όμως των έργων, δημιούργησε περισσότερα ζητήματα. Ο τελικός ταμιευτήρας 38.000 στρεμμάτων (αντί 42.000) θα συμβάλει σημαντικά στην αύξηση των περιορισμένων υδατικών πόρων της Θεσσαλίας, προσομοιάζοντας τον τρόπο λειτουργίας της τέως λίμνης Κάρλας, προτού αρχίσει η υποβάθμισή της, δηλαδή θα αποταμιεύει τις χειμερινές απορροές της λεκάνης και τις πλημμυρικές παροχές του Πηνειού και θα διαθέτει αυτές τις ποσότητες νερού για την άρδευση τους καλοκαιρινούς μήνες.

Η περιοχή της λίμνης Κάρλας αντιμετωπίζει ένα πλήθος προβλημάτων, τα οποία οφείλονται στην αποξήρανση άρα η λειτουργία ταμιευτήρα κρίνεται απαραίτητη. Ωστόσο, μετά την πρώτη πλήρωση του ταμιευτήρα, απαιτείται η ετήσια ανανέωση των υδάτων της για την αποφυγή γρήγορης αλάτωσης των υδάτων και περαιτέρω ευτροφισμού, που θα έχει συνέπειες στη λειτουργία της ως υδροβιότοπου. Συνεπώς η απόληψη νερού και η διάθεσή του εκτός λίμνης είναι η μόνη λύση για την ανανέωση του υδάτινου όγκου της με τα καθαρά χειμερινά νερά του Πηνειού.

3.10 Προβλήματα λεκάνης απορροής λίμνης Κάρλας

Η αρδευόμενη γεωργία, ενώ έχει δώσει λύσεις σε πολλά προβλήματα, έχει δημιουργήσει ταυτόχρονα σημαντικές περιβαλλοντικές πιέσεις (υπερεκμετάλλευση υδατικών αποθεμάτων, ποιοτική τους υποβάθμιση, αλλαγές στο έδαφος και στις χρήσεις γης, εκπομπή αερίων θερμοκηπίου, κλπ.) (Medellín-Azuara et al., 2009). Οι παραγωγικές – οικονομικές απαιτήσεις που τίθενται σήμερα, συνοδεύονται από εντατικοποίηση της γεωργίας και άρα όξυνση των παραπάνω πιέσεων. Τέτοιου είδους προβλήματα ενισχύονται από τον περιορισμένο ή ελλιπή διαχειριστικό έλεγχο που συχνά παρατηρείται στις αγροτικές περιοχές, διακρινόμενες μη βιώσιμες νοοτροπίες και πρακτικές. Τα κυριότερα προβλήματα στη λεκάνη απορροής της λίμνης Κάρλας, συνοψίζονται ως ακολούθως:

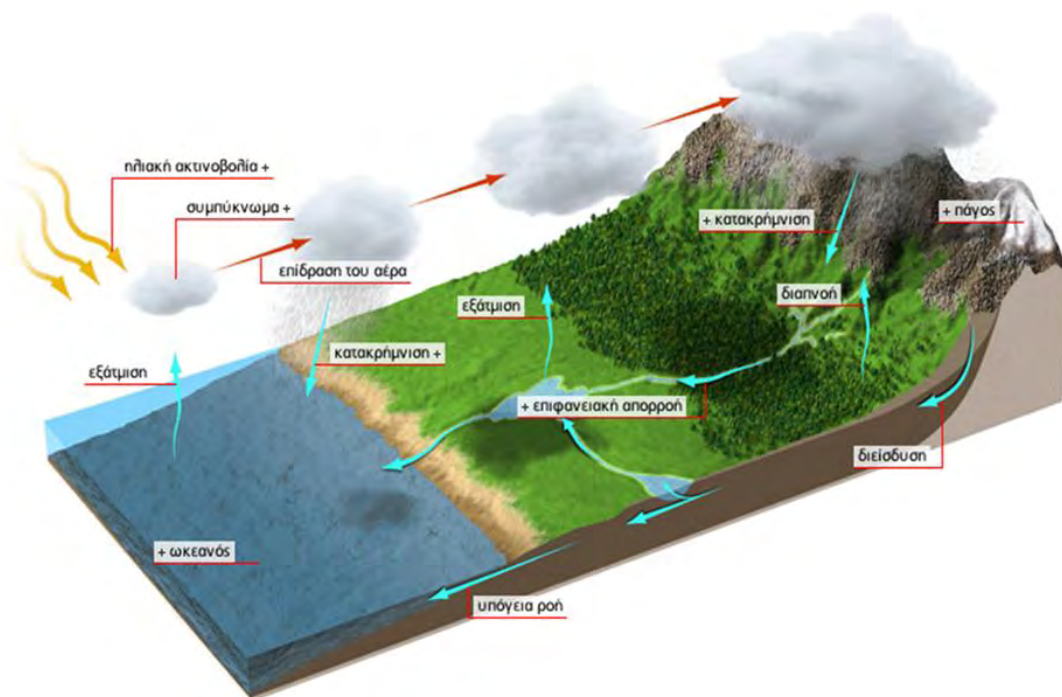
- Μεγάλη αύξηση ζήτησης, μείωση προσφοράς λόγω αλόγιστης άντλησης σε συνδυασμό με την κλιματική αλλαγή.
- Μεγάλο ποσοστό της έκτασης καλλιεργείται από υδροβόρες καλλιέργειες.
- Υπάρχει χρονική και χωρική ανισοκατανομή των επιφανειακών υδατικών πόρων και υδατικών απαιτήσεων.
- Ανεπαρκής ανάπτυξη έργων αξιοποίησης επιφανειακών υδατικών πόρων.
- Κάλυψη των υδατικών αναγκών από αντλήσεις υπόγειων υδατικών πόρων.
- Παράνομες γεωτρήσεις.
- Υπερεκμετάλλευση των υπόγειων υδατικών πόρων.
- Ελλειμματικά υδατικά ισοζύγια.
- Δραματική πτώση της στάθμης του υπόγειου υδροφορέα σε συγκεκριμένες περιοχές λόγω υπεράντλησης.

- Υποβάθμιση της ποιότητας και ποσότητας των υδατικών πόρων, μέσω της υπερλίπανσης και της χρήσης φυτοφαρμάκων.
- Έλλειψη κοινής οργάνωσης και διαχείρισης υδατικών πόρων.
- Λανθασμένη τιμολόγηση βάσει στρέμματος και όχι βάσει κατανάλωσης (απουσία υδρομέτρων).

4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

4.1 Υπολογισμός υδατικού ισοζυγίου

Ο υδρολογικός κύκλος είναι η συνεχής ανακύκλωση του νερού της Γης μέσα στην υδρόσφαιρα, στην ατμόσφαιρα και στη λιθόσφαιρα (έδαφος-υπέδαφος). Το συνεχές της κυκλικής διαδικασίας του κύκλου του νερού επιτυγχάνεται εξαιτίας της ηλιακής ακτινοβολίας. Η Γεωλογική Υπηρεσία των ΗΠΑ (USGS) διακρίνει 16 συνιστώσες του υδρολογικού κύκλου, όπως απεικονίζονται παρακάτω.



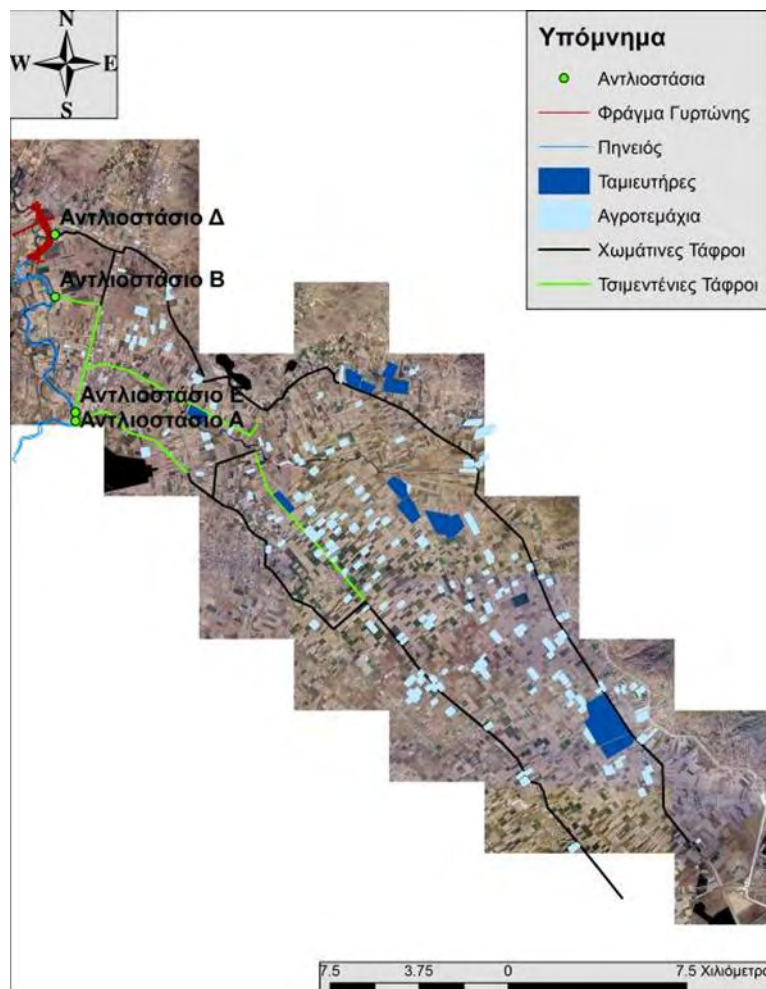
Εικόνα 4. 1 Συνιστώσες υδρολογικού κύκλου (USGS).

Η μαθηματική έκφραση του υδρολογικού κύκλου μιας λεκάνης απορροής αποτελεί το υδρολογικό της ισοζύγιο. Για δεδομένη λεκάνη απορροής η εξίσωση της διαφοράς μεταξύ των εκροών και των εισροών με το ρυθμό αλλαγής της αποθήκευσης του νερού στη λεκάνη, σε καθορισμένο χρόνο, εκφράζει το υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης (Loukas et al, 2006). Πιο συγκεκριμένα, το υδατικό ισοζύγιο υπολογίστηκε προσομοιώνοντας τις πηγές προσφοράς νερού και τη ζήτηση για όλες τις χρήσεις. Η τροφοδοσία στη μελετώμενη λεκάνη γίνεται από τον Πηνειό ποταμό, από τον υπόγειο υδροφορέα, και μελλοντικά από το νέο ταμιευτήρα της Κάρλας. Όσον αφορά τη ζήτηση, η κύρια χρήση νερού είναι η αγροτική, ενώ αστική, βιομηχανική και κτηνοτροφική χρήση απαντώνται σε πολύ μικρότερο ποσοστό. Το υδατικό ισοζύγιο, δηλαδή η διαφορά προσφορά μείον ζήτηση, υπολογίστηκε σε μηνιαίο και ετήσιο χρονικό βήμα. Οι πηγές προσφοράς νερού και η ζήτησή του αναλύονται στη συνέχεια.

4.1.1 Απολήψεις από ποταμό Πηνειό

Το ανοιχτό αρδευτικό δίκτυο στο βόρειο τμήμα της λεκάνης υπάγεται στην αρμοδιότητα του ΤΟΕΒ Πηνειού και αρδεύεται με νερά του ποταμού τα οποία είτε αποθηκεύονται σε τοπικές υδατοδεξαμενές είτε στις αποχετευτικές τάφρους. Η αποθήκευση νερού στις

τάφρους γίνεται σε μεγάλο μέρος με πρόχειρα χωμάτινα αναχώματα που κάθε χρόνο ανακατασκευάζονται από τους ΤΟΕΒ. Η άρδευση των αγροτεμαχίων γίνεται κυρίως με πρόχειρα ιδιωτικά έργα (Αλαμάνος, 2019). Κατά μήκος της κοίτης του Πηνειού ποταμού βρίσκονται τέσσερα αντλιοστάσια, από τα οποία τα τρία τροφοδοτούν το δίκτυο του Τ.Ο.Ε.Β Πηνειού:



Εικόνα 4. 2 Έργα απολήψεων ΤΟΕΒ Πηνειού (Υδρομέτωρ, 2015)

Το αντλιοστάσιο Α΄ βρίσκεται πλησίον του κόμβου Ομορφοχωρίου με συντεταγμένες θέσης (ΕΓΣΑ 87) $X=366790$ και $Y=4392161$. Είναι εφοδιασμένο με 13 αντλητικά συγκροτήματα παροχής σχεδιασμού $1500 \text{ m}^3/\text{h}$ έκαστο. Το αντλιοστάσιο Β΄ βρίσκεται ανάντη της πόλης της Λάρισας, στη συνέχεια της ροής του Πηνειού Ποταμού και κατάντη του Ρουφράκτη (φράγμα) της Γυρτώνης με συντεταγμένες: $X=365819$, $Y = 4397356$. Το αντλιοστάσιο Ε βρίσκεται πλησίον του Α, με συντεταγμένες $X=366794$ και $Y=4392537$. Είναι εφοδιασμένο με οκτώ αντλητικά συγκροτήματα ίδιας δυναμικότητας. Το αντλιοστάσιο Δ΄ της Γυρτώνης είναι ανενεργό. Και τα τέσσερα βρίσκονται μέσα στην πλημμυρική κοίτη ή και στη βαθιά κεντρική κοίτη του ποταμού. Σε περιπτώσεις πλημμύρας κατακλύζονται και απαιτείται η αποσυναρμολόγηση και η μεταφορά του Η/Μ εξοπλισμού τους. Τους χειμερινούς μήνες τα αντλιοστάσια Α΄ και Ε΄ τροφοδοτούν 12 τοπικούς ταμιευτήρες, που επίσης διαχειρίζεται ο ΤΟΕΒ Πηνειού. Αυτοί οι ταμιευτήρες χρησιμοποιούνται μαζί με τις τάφρους του αρδευτικού δικτύου για την κάλυψη της ζήτησης. Η συνολική χωρητικότητα των ταμιευτήρων φτάνει τα 20 hm^3 . (Αλαμάνος, 2019).

Στον επόμενο Πίνακα παρουσιάζονται οι απολήψεις του ΤΟΕΒ Πηνειού για την κάλυψη της ζήτησης και την πλήρωση του ταμιευτήρα της Κάρλας, με βάση τις παροχές σχεδιασμού. Οι συνολικές απολήψεις από τον ποταμό ανέρχονται στα 211,2 hm³ από τα οποία 100 hm³ απαιτούνται για τη λειτουργία του ταμιευτήρα της Κάρλας.

Πίνακας 4. 1 Δυναμικότητα του συστήματος με βάση τις μέγιστες παροχές και τις προτεινόμενες από μελέτες απολήψεις του Τ.Ο.Ε.Β. Πηνειού (Υδρομέντωρ, 2015).

Αντλιοστάσιο	A	B	E	Κάρλας	Σύνολο
Αντλίες	13	3	8		
Ισχύς m ³ /h	1500	1500	1500		
Παροχή m ³ /h	19500	4500	12000		
Παροχή m ³ /s	5,42	1,25	3,33	14	
Απρ (hm ³)	5,265	1,22	3,24	0,00	9,72
Μάιος (hm ³)	10,53	2,43	6,48	0,00	19,44
Ιούν (hm ³)	10,53	2,43	6,48	0,00	19,44
Ιούλ (hm ³)	10,53	2,43	6,48	0,00	19,44
Αυγ (hm ³)	10,53	2,43	6,48	0,00	19,44
Σεπ (hm ³)	5,265	1,22	3,24	0,00	9,72
Οκτ (hm ³)	0,00	0,00	0,00	20,00	20,00
Νοε (hm ³)	0,00	0,00	0,00	20,00	20,00
Δεκ (hm ³)	1,55	0,00	0,45	20,00	22,00
Ιαν (hm ³)	3,10	0,00	0,90	20,00	24,00
Φεβ (hm ³)	3,10	0,00	0,90	20,00	24,00
Μάρ (hm ³)	3,10	0,00	0,90	20,00	24,00
Έτος	63,5	12,15	35,55	100,00	211,20

Επομένως, κατά την προσομοίωση θεωρήθηκε ότι ο όγκος νερού που παροχετεύεται από τον Πηνειό είναι 111,20 hm³ και χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την αρδευτική χρήση νερού.

4.1.2 Απολήψεις από υπόγειο υδροφορέα

Οι εισροές στον υπόγειο υδροφορέα οφείλονται στην κατείσδυση από την βροχόπτωση, ενώ ο όγκος νερού που αντλείται (εκροές) από τον υπόγειο υδροφορέα καθορίζεται από τη ζήτηση των χρήσεων νερού που εξυπηρετούνται από αυτόν. Με γνωστή την απορροή και την επαναφόρτιση του υδροφορέα (Recharge) σε mm νερού καθώς και την έκτασή του (500 km²), προκύπτει ο ανανεώσιμος όγκος. Στο συνολικό ανανεώσιμο όγκο λήφθηκε υπόψη και η επιστρεφόμενη ροή από την άρδευση, ίση με 10% (Υδρομέντωρ, 2015).

4.1.3 Απολήψεις από ταμιευτήρα Κάρλας

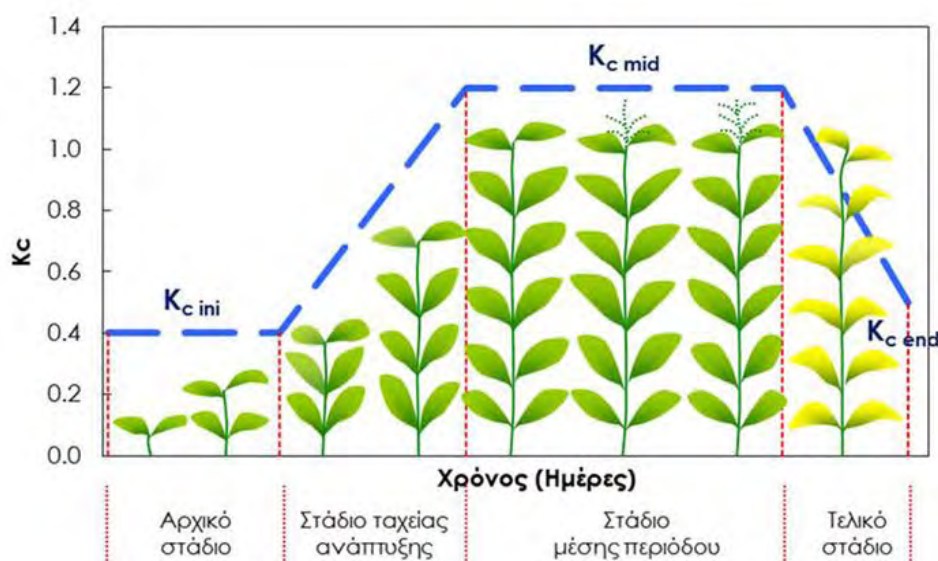
Σύμφωνα με τη μελέτη επανασύστασης της λίμνης Κάρλας (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2009), ο ταμιευτήρας τροφοδοτείται με την απευθείας βροχόπτωση μέσα στη λίμνη (ετήσια απορροή 15-19 hm³), τα όμβρια νερά της λεκάνης απορροής της λίμνης με φυσική ροή, και τα νερά των χαμηλών περιοχών της λεκάνης όπου αντλούνται στη λίμνη με τα αντλιοστάσια αποχέτευσης των κόμβων Πέτρας και Καναλίων (συνολική ετήσια απορροή: 20-35 hm³). Τροφοδοτείται επίσης από τα χειμερινά νερά του Πηνειού, που μεταφέρονται με φυσική ροή στη λίμνη μέσω τάφρων και συλλεκτήρων (θεωρητική ετήσια απόληψη 80 hm³). Σύμφωνα με την ίδια μελέτη και την εργασία (Loukas et al. 2007) για τη λειτουργία και διαχείριση του ταμιευτήρα, οι απώλειες/απολήψεις νερού από τη λίμνη θα είναι: Οι υπόγειες διαφυγές που εκτιμώνται σε 18 hm³, η εξάτμιση του νερού της λίμνης που υπολογίζεται σε 38 hm³, και η απόληψη νερού για άρδευση και κάλυψη των αναγκών των έργων περιβαλλοντικής ανάδειξης. Σύμφωνα με τη μελέτη λειτουργίας, ο όγκος σχεδιασμού για την άρδευση είναι 60 hm³ ετησίως. Αυτός ο όγκος χρησιμοποιείται και ως προσφορά νερού για άρδευση από τον ταμιευτήρα (Αλαμάνος, 2019).

4.2 Υπολογισμός αρδευτικών αναγκών - Ζήτηση

4.2.1 Φυτικός συντελεστής καλλιέργειας Kc

Ο συντελεστής Kc είναι ένας εμπειρικός εποχιακός συντελεστής που συνδέει τις ανάγκες της καλλιέργειας αναφοράς και των άλλων καλλιεργειών και δίνεται στον Πίνακα . Η καλλιέργεια αναφοράς αντιστοιχεί σε μια μηδική καλλιέργεια με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά όπου με βάση αυτήν, υπολογίζονται οι ανάγκες όλων των υπόλοιπων καλλιεργειών.

Στην καλλιέργεια αναφοράς το Kc είναι ίσο με τη τιμή 1 και η τιμή του αυτή διαφοροποιείται για κάθε καλλιέργεια και αλλάζει ανάλογα με την περίοδο βλάστησης στην οποία βρίσκεται αυτή (Σχήμα 4.1). Η βλαστική περίοδος αποτελείται από τέσσερα στάδια φυτικής ανάπτυξης και αφορά την περίοδο από τη σπορά έως την συγκομιδή της καλλιέργειας. Στην περίπτωση μόνιμων καλλιεργειών, όπως δέντρα, αφορά την περίοδο από την ανάπτυξη του φυλλώματος έως την συγκομιδή, κατά την οποία οι καλλιέργειες απαιτούν για την σωστή ανάπτυξη τους, νερό (Allen et al, 1998). Η αναλυτική περιγραφή των σταδίων γίνεται παρακάτω.



Σχήμα 4. 1 Εξέλιξη του συντελεστή βλάστησης (K_c) της καλλιέργειας.

- $K_{c\ ini}$ -Αρχικό στάδιο: Το στάδιο αυτό αρχίζει από την σπορά ή φύτευση της καλλιέργειας και φτάνει μέχρι την οριστική εγκατάσταση της. Στο διάστημα αυτό ο φυτικός συντελεστής K_c παραμένει σταθερός.
- $K_{c\ ini}$ - $K_{c\ mid}$ -Στάδιο ταχεία ανάπτυξης: Το στάδιο αυτό χαρακτηρίζεται από την έντονη ανάπτυξη των φυτών, ξεκινάει με το τέλος του αρχικού και τελειώνει με την πλήρη κάλυψη του εδάφους από την καλλιέργεια, δηλαδή όταν το ποσοστό φυτοκάλυψης υπερβαίνει το 70%. Το K_c παρουσιάζει μια συνεχή αύξηση.
- $K_{c\ mid}$ -Στάδιο μέσης περιόδου: Το στάδιο αυτό ξεκινάει με την πλήρη κάλυψη του εδάφους, όπως ορίστηκε στο προηγούμενο στάδιο, και περιλαμβάνει την περίοδο της ανθοφορίας και του σχηματισμού των καρπών με την τιμή του K_c να παραμένει σταθερή.
- $K_{c\ mid}$ - $K_{c\ end}$ -Τελικό στάδιο: Σε αυτό το στάδιο συντελείται η ωρίμανση των καρπών και τερματίζεται με την συγκομιδή. Στις διαδικασίες αυτές οι καλλιέργειες έχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις σε νερό. Κατά τη διάρκεια αυτού του σταδίου παρατηρείται μια συνεχής πτώση του K_c .
- $K_{c\ end}$ -Στιγμή συγκομιδής: Η μέση τιμή του K_c κατά τη στιγμή της συγκομιδής ή στο τέλος της εποχής χρήσης ύδατος.

Πίνακας 4. 2 Φυτικοί συντελεστές, K_c , κατά FAO (1998)

Καλλιέργεια	ΟΚ	ΝΟ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΝ	ΙΟΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
Βαμβάκι	0,18	0	0	0	0	0	0	0,3	0,45	0,75	0,9	0,83
Καλαμπόκι	0	0	0	0	0	0	0,058	0,37	0,66	0,85	0,85	0,33
Καπνός	0	0	0	0	0	0	0	0,35	0,75	1,1	0,95	0
Δέντρα/λοιπά	0	0	0	0	0	0	0	0,6	0,7	1	0,85	0,8
Μηδική	0	0	0	0	0	0	1,05	1,14	1,18	1,2	1,18	1,15
Τεύτλα	0	0	0	0	0	0	0,36	0,64	0,85	0,85	0,27	0
Αμπέλια	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0,45	0,6	0,6	0,45
Κηπ/μπο/λοιπα	0	0	0	0	0	0	0,34	0,66	0,85	0,5	0	0
Σιτηρά	0	0,31	0,48	0,71	0,93	1,12	1,13	0,68	0	0	0	0
Πατάτες	0,98	0	0	0	0	0	0	0	0	0,41	0,79	1,15

Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή των φυτικών συντελεστών είναι:

- τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας
- η εποχή σποράς
- ο ρυθμός ανάπτυξης της καλλιέργειας
- η διάρκεια της βλαστικής περιόδου και οι εδαφικές συνθήκες

Απαραίτητη είναι αρχικά η γνώση των καλλιεργούμενων εκτάσεων και των ειδών των καλλιεργειών. Χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από την ΕΣΥΕ, από αποτελέσματα δορυφορικής ταξινόμησης (Spiliotopoulos et al., 2015), και τον Οργανισμό Πληρωμών και Ελέγχου Κοινοτικών Ενισχύσεων Προσανατολισμού και Εγγυήσεων (ΟΠΕΚΕΠΕ). Έτσι διαμορφώθηκε μια χρονοσειρά κατανομής καλλιεργειών για τα έτη 2005-2015 (Τζαφόλια, 2018). Οι καλλιέργειες χωρίστηκαν σε 12 κλάσεις: μηδική, καλαμπόκι, βαμβάκι, σιτάρι, ζαχαρότευτλα, πατάτες, ντομάτες, ελιές, ρύζι, δένδρως, κηπευτικά και λοιπές καλλιέργειες.

Στη λεκάνη απορροής της λίμνης Κάρλας, οι καλλιέργειες που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και τα ποσοστά που αντιστοιχίζονται για τη χρονοσειρά που μελετήθηκαν, φαίνεται στον παρακάτω συγκεντρωτικό πίνακα. Οι πηγές τροφοδότησης είναι τα επιφανειακά ύδατα του Πηνειού και υπόγειος υδροφόρας.

Πίνακας 4. 3 Χωροχρονική κατανομή εκτάσεων που έχουν ως πηγή τροφοδότησης τον υπόγειο υδροφόρα (Τζαφόλια, 2018).

ΑΠΟ ΤΟΝ ΥΠΟΓΕΙΟ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ											
	Έκταση (km ²)										
Καλλιέργεια	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
ΜΗΔΙΚΗ	4,52	10,37	16,22	11,61	8,46	8,20	7,90	11,02	11,41	14,58	18,27
ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΣ	15,58	12,19	8,80	7,75	9,30	4,56	7,29	14,64	18,27	15,95	14,85
ΣΙΤΑΡΙ	9,02	99,37	189,72	142,04	145,98	98,47	89,77	126,72	130,20	144,94	160,19
ΒΑΜΒΑΚΙ	226,97	179,42	131,88	97,83	88,64	72,79	82,09	96,93	76,79	100,66	115,67
ΔΕΝΔΡΩΔΗ	29,17	25,89	22,62	8,91	0,03	6,10	6,89	9,97	10,20	5,21	0,04
ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΑ	14,86	9,20	3,55	4,40	5,73	1,95	0,15	1,65	1,97	1,99	1,54
ΝΤΟΜΑΤΕΣ	1,02	4,42	7,82	6,69	9,47	3,84	1,78	3,45	3,59	5,41	8,43
ΕΛΙΕΣ	19,24	18,77	18,30	7,81	1,40	3,57	3,52	4,66	4,10	3,19	2,69
ΑΜΠΕΛΩΝΕΣ	0,36	0,55	0,73	0,44	0,39	0,32	0,28	0,50	0,54	0,60	0,79
ΚΗΠΕΥΤΙΚΑ	3,28	3,12	2,96	1,82	1,52	1,44	1,74	2,25	2,16	1,80	1,65
ΑΓΡΑΝΑΠΑΥΣΗ	1,08	1,05	1,02	1,54	0,41	2,55	2,21	6,81	8,23	10,66	13,22
ΛΟΙΠΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	34,66	27,41	20,16	14,99	9,45	77,08	77,24	95,69	106,83	61,61	18,86

Πίνακας 4. 4 Χωροχρονική κατανομή εκτάσεων που έχουν ως πηγή τροφοδότησης τα επιφανειακά ύδατα του Πηνειού (Τζαφόλια, 2018).

ΑΠΟ ΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΥΔΑΤΑ ΤΟΥ ΠΗΝΕΙΟΥ											
	Έκταση (km ²)										
Καλλιέργεια	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
ΜΗΔΙΚΗ	1,04	2,39	3,74	2,83	2,72	2,00	1,92	2,01	2,08	2,66	2,72
ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΣ	3,59	2,81	2,03	1,89	1,28	1,11	1,77	2,68	3,34	2,92	1,28
ΣΙΤΑΡΙ	2,08	22,90	43,72	34,59	28,68	23,98	21,86	23,16	23,79	26,49	28,68
ΒΑΜΒΑΚΙ	52,31	41,35	30,39	23,82	31,63	17,73	19,99	17,71	14,03	18,39	31,63
ΔΕΝΔΡΩΔΗ	6,72	5,97	5,21	2,17	0,21	1,48	1,68	1,82	1,86	0,95	0,21
ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΑ	3,42	2,12	0,82	1,07	0,84	0,47	0,04	0,30	0,36	0,36	0,84
ΝΤΟΜΑΤΕΣ	0,24	1,02	1,80	1,63	0,12	0,94	0,43	0,63	0,66	0,99	0,12
ΕΛΙΕΣ	4,43	4,33	4,22	1,90	0,00	0,87	0,86	0,85	0,75	0,58	0,00
ΑΜΠΕΛΩΝΕΣ	0,08	0,13	0,17	0,11	0,00	0,08	0,07	0,09	0,10	0,11	0,00
ΚΗΠΕΥΤΙΚΑ	0,75	0,72	0,68	0,44	0,06	0,35	0,42	0,41	0,39	0,33	0,06
ΑΓΡΑΝΑΠΑΥΣΗ	0,25	0,24	0,23	0,37	2,28	0,62	0,54	1,24	1,50	1,95	2,28
ΛΟΙΠΕΣ ΚΑΛΛ.	7,99	6,32	4,65	3,65	0,53	18,77	18,81	17,49	19,52	11,26	0,53

4.2.2 Υπολογισμός της Εξατμισοδιαπνοής των Καλλιεργειών

Για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής αθροίζονται τα δεδομένα της διαπνοής (ποσότητα νερού που απορροφάται από τις ρίζες των φυτών και στη συνέχεια χρησιμοποιείται είτε για την διάπλαση των ιστών των φυτών, είτε αποβάλλεται από το φύλλωμα στον ατμοσφαιρικό αέρα) και της εξάτμισης (ποσότητα νερού που εξατμίζεται από το έδαφος και από την επιφάνεια των φύλλων των φυτών). Οι δύο διαδικασίες πραγματοποιούνται την ίδια χρονική στιγμή. Αλλάζουν ανάλογα με το έδαφος, την υγρασία και την ηλιακή ακτινοβολία.

Ο όρος εξατμισοδιαπνοή (evapotranspiration) αφορά την ποσότητα που καταναλίσκεται στη διαπνοή των φυτών και στην εξάτμιση των υγρών μερών του φυτού και του εδάφους κατά τη διάρκεια μιας ορισμένης περιόδου. Για τον προσδιορισμό της εξατμισοδιαπνοής οι υπολογισμοί βασίζονται στη συνθήκη πως υπάρχει πάντα επαρκές διαθέσιμο νερό στο έδαφος το οποίο καταναλίσκεται με την εξατμισοδιαπνοή. Συχνά ως καλλιέργεια αναφοράς ορίζεται το γρασίδι.

Η δυναμική (δυναμική) εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς (potential evapotranspiration of reference crop, PET) είναι η εξατμισοδιαπνοή από μια επιφάνεια πλήρως καλυμμένη από γρασίδι ομοιόμορφου ύψους 8-15 cm, ελεύθερου από οποιαδήποτε ασθένεια με επαρκές διαθέσιμο εδαφικό νερό για την ανάπτυξη του.

Η τροποποιημένη μέθοδος Blaney-Criddle υπολογίζει τη δυναμική εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς συμπεριλαμβάνοντας και άλλες κλιματικές παραμέτρους της υπό μελέτη περιοχής:

- την ελάχιστη σχετική υγρασία, RHmin [%]
- το ποσοστό ηλιοφάνειας, n/N
- τη μέση ταχύτητα ανέμου στο 24ωρο σε ύψος 2m, u2 [m/sec]

Στην περίπτωση που τα δεδομένα αυτά δεν είναι διαθέσιμα, μπορούν να ληφθούν κατ' εκτίμηση ή από προέκταση των δεδομένων γειτονικών περιοχών.

Η δυναμική εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς PET δίνεται από τη σχέση:

$$PET_o = a + b * f \left(\frac{mm}{\eta\mu\epsilon\rho\alpha} \right) \quad (4.1)$$

Όπου:

$$f = p * (0.46 T_{mean} + 8.13) \left(\frac{mm}{day} \right) \quad (4.2)$$

$$a = 0.0043 * RH_{min} - n/N - 1.41 \quad (4.3)$$

$$b = 0.82 - (0.0041 * RH_{min}) + 1.07 * (n/N) + 0.066 * u - 0.006 * RH_{min} * (n/N) - 0.0006 * RH_{min} * u \quad (4.4)$$

4.2.3 Ωφέλιμη ή ενεργός Βροχόπτωση

Ένα μέρος της ζήτησης των καλλιεργειών καλύπτεται από την υφιστάμενη βροχόπτωση, το σύνολο της οποίας, όμως, δεν μπορεί να θεωρηθεί πως καταλήγει στο φυτό και έτσι λαμβάνονται υπόψιν οι απώλειες από την εξατμισοδιαπνοή, την επιφανειακή απορροή και την βαθιά διήθηση. Η ποσότητα της βροχόπτωσης που είναι άμεσα εκμεταλλεύσιμη ονομάζεται ενεργός ή ωφέλιμη βροχόπτωση. Έχοντας ως δεδομένο τις μηνιαίες

απαιτήσεις για κάθε υδρολογικό έτος, υπολογίζουμε με βάση την ενεργό βροχόπτωση ποιες από τις ανάγκες μας μπορούν να ικανοποιηθούν από αυτήν και ποιες από το πότισμα. Συνήθως τους χειμερινούς μήνες και κατά δεύτερο λόγω τους μήνες της άνοιξης και του φθινοπώρου, η βροχή ικανοποιεί ένα μεγάλο μέρος των απαιτήσεων.

Αρχικά υπολογίζεται η τιμή της ωφέλιμης υετόπτωσης P_{eff} , δηλαδή το ύψος της βροχής, χωρίς να συμπεριλαμβάνονται οι απώλειες λόγω επιφανειακής απορροής και βαθιάς διήθησης κάτω από το ρίζωμα. Η P_{eff} υπολογίζεται με βάση το μηνιαίο ύψος της υετόπτωσης με τους παρακάτω τύπους της USDA Soil Conservation Service (Dastane, 1978).

$$P_{eff} = P_{tot} * (125 - 0,2 * P_{tot}) / 125 \quad \text{για } P_{tot} < 250 \text{ mm (4.5)}$$

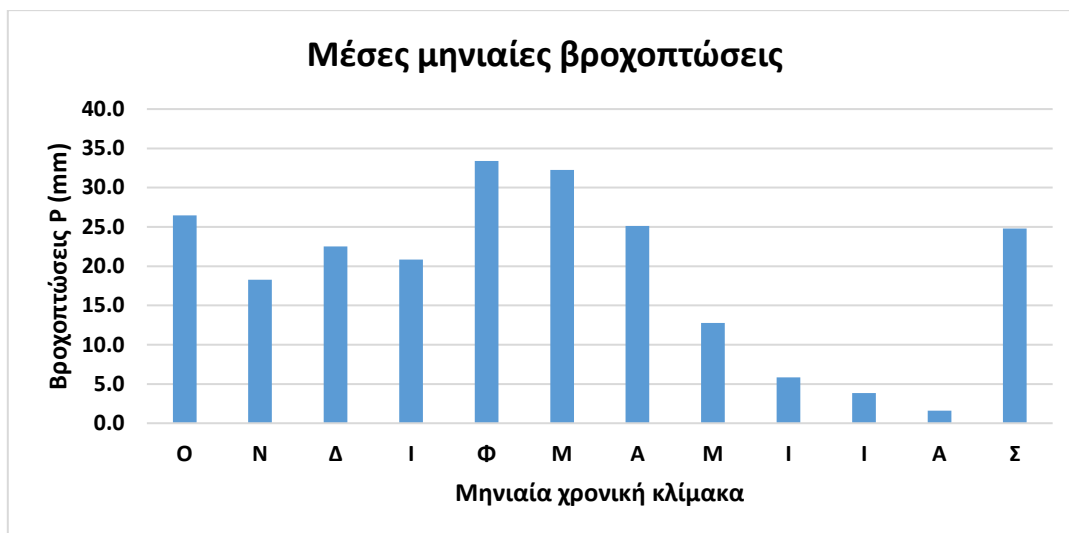
$$P_{eff} = 125 + 0,1 * P_{tot} \quad \text{για } P_{tot} > 250 \text{ mm (4.6)}$$

όπου P_{tot} η μηνιαία υετόπτωση.

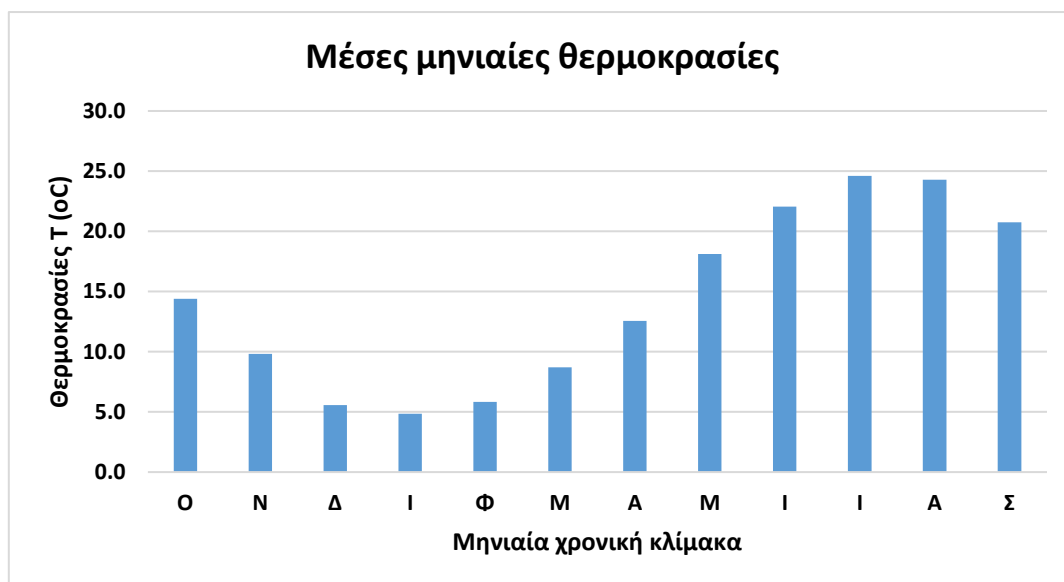
Επιλέγεται το P_{eff} με όριο τα 250mm μηνιαίας υετόπτωσης, αφού για τόσο υψηλή βροχόπτωση έχουμε τις υψηλότερες απώλειες.

4.2.4 Μετεωρολογικά δεδομένα και σταθμοί

Για τον προσδιορισμό των παραμέτρων που αναφέρθηκαν, χρειάστηκαν και τα αντίστοιχα μετεωρολογικά δεδομένα από τους σταθμούς στη λεκάνη απορροής της λίμνης Κάρλας, για τη δεδομένη χρονοσειρά. Παρατηρήθηκε μικρή διαφορά στις τιμές των βροχοπτώσεων καθώς και των θερμοκρασιών ανά τα έτη και έτσι παρουσιάζονται ενδεικτικά οι μέσες τιμές αυτών στα επακόλουθα σχήματα.



Σχήμα 4. 2 Μέσες μηνιαίες βροχοπτώσεις για την περίοδο μελέτης.



Σχήμα 4. 3 Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες για την περίοδο μελέτης.

Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή της κάθε καλλιέργειας PETc ,αποτελεί το δείκτη της απώλειας νερού, με τη μορφή υδρατμών, ως συνέπεια της διαπνοής των φυτών και της εξάτμισης από την επιφάνεια του εδάφους. Η εξατμισοδιαπνοή των καλλιεργειών μετρίεται σε [mm] ανά μονάδα χρόνου, εκφράζεται ως το ύψος του νερού που χάνεται από μια επιφάνεια .

Η διαπνοή και η εξάτμιση δεν διαχωρίζονται εύκολα χρονικά αφού συμβαίνουν ταυτόχρονα. Σε μια πιο γενική σκοπιά, στα αρχικά στάδια μιας καλλιέργειας πιο σημαντικός είναι ο ρόλος της εξάτμισης από την επιφάνεια του εδάφους, ενώ σε μεταγενέστερα στάδια, όπου η φυτοκάλυψη είναι αυξημένη, πιο σημαντική γίνεται η απώλεια λόγω διαπνοής η οποία φτάνει έως και το 90% της PETc όταν η καλλιέργεια βρίσκεται σε πλήρη ανάπτυξη. Σημαντικό ρόλο στην εξατμισοδιαπνοή έχουν: το φυτικό είδος της καλλιέργειας σε επίπεδο βάθους και πυκνότητας ριζοστρώματος, το στάδιο ανάπτυξης και άρα το ποσοστό φυτοκάλυψης του εδάφους καθώς και κλιματικοί παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η ηλιακή ακτινοβολία, η σχετική υγρασία και η ένταση και διεύθυνση του ανέμου. Κατά καιρούς έχουν αναπτυχθεί διάφοροι τρόποι υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής: άμεσα με μετρήσεις στο χωράφι ή έμμεσα με

εμπειρικές μεθόδους και τη χρήση κλιματολογικών στοιχείων που είναι αντιπροσωπευτικά για τη μελετώμενη περιοχή.

Από τις έμμεσες μεθόδους υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής επιλέχθηκε η τροποποιημένη μέθοδος Blaney – Criddle (Blaney et al, 1962). Επίσης, σύμφωνα με διάφορες μελέτες, η μέθοδος Blaney – Criddle δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα εξατμισοδιαπνοής (Κουτσογιάννης, 2002).

$$PET_c = K_c \cdot PET_o \quad (4.7)$$

Εκτίμηση μηνιαίων καταναλώσεων κάθε καλλιέργειας με την μέθοδο του FAO σύμφωνα με το Near Irrigation Requirement (NIR) (USDA, 1970). Η τιμή NIR είναι οι επιπλέον ανάγκες σε νερό των καλλιεργειών που εκφράζονται σε ύψος νερού σε mm/m² και υπολογίζεται σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους:

$$NIR = PET_c - Pe_{eff}/nd \quad \text{αν } PET_c - Pe_{eff}/nd > 0 \quad (4.8)$$

$$NIR = 0 \quad \text{αν } PET_c - Pe_{eff}/nd < 0 \quad (4.9)$$

όπου E_{Το} είναι η αναγκαία κατανάλωση και Pe_{eff} η ωφέλιμη (χρήσιμη) βροχόπτωση. Οι τελικές ανάγκες της κάθε καλλιέργειας σε νερό εκφράζονται από την τιμή Q σε hm³.

$$Q = NIR \cdot E \cdot 1000 \quad (4.10)$$

όπου NIR η ανάγκη σε νερό εκφρασμένη σε mm/m² και E το συνολικό εμβαδόν της κάθε καλλιέργειας. Οι συνολικές ανάγκες σε νερό μηνιαίος για την λεκάνη εκφράζεται σαν άθροισμα των επιμέρους αναγκών των καλλιεργειών και είναι:

$$\Sigma Q_{ολ} = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_8 \quad (4.11)$$

Όπου Q₁-Q₂-Q₈ η απαίτηση σε νερό των επιμέρους καλλιεργειών

4.2.5 Συντελεστές απόδοσης μεθόδων άρδευσης

Οι συνολικές ανάγκες σε αρδευτικό νερό μιας περιοχής μελέτης είναι επίσης σκόπιμο να συμπεριλαμβάνουν τις απώλειες νερού που πραγματοποιούνται, τόσο κατά τη μεταφορά του, όσο και κατά την εφαρμογή του στο χωράφι. Αυτό ουσιαστικά συνεπάγεται αυξημένες ανάγκες σε αρδευτικό νερό. Στην λεκάνη μελέτης η μεταφορά του νερού γίνεται με υπό πίεση δίκτυο (Παπαζαφειρίου, 1999) .

$$E_f = M_{\varepsilon\pi} E_{\varepsilon\pi} + M_{\kappa\lambda} E_{\kappa\lambda} \quad (4.12)$$

$$E_d = M_{\sigma\tau} E_{\sigma\tau} + M_{\kappa\alpha\tau} E_{\kappa\alpha\tau} \quad (4.13)$$

$$E_{tot} = \frac{1}{E_f \cdot E_d} \quad (4.14)$$

Όπου:

M: το ποσοστό των εκτάσεων που εξυπηρετούνται από επιφανειακό (επ), ή κλειστό (κλ) δίκτυο, ή αντίστοιχα από στάγδην άρδευση (στ), ή καταιονισμό (κατ).

E: οι αντίστοιχοι συντελεστές απόδοσης του κάθε τύπου δικτύου ή μεθόδου άρδευσης.

Πίνακας 4. 5. Συντελεστές προσαύξησης υδατικών απαιτήσεων λόγω απωλειών άρδευσης (Υδρομέντωρ, 2015)

Τύπος δικτύου	Συντήρηση και λειτουργία	Αποδοτικότητα διανομής και μεταφοράς (E_f)
Επιφανειακό	Ελλιπής	0,40
Υπό πίεση	Ικανοποιητική	0,80
Μέθοδος άρδευσης		Αποδοτικότητα εφαρμογής (E_d)
Καταιονισμός – Κλασσικό σύστημα/ Αυτοκινούμενη γραμμή άρδευσης/ Περιστροφικό σύστημα (Pivot)		0,80
Στάγδην – μέση απόδοση		0,90

4.3 Υπολογισμός καθαρών κερδών

4.3.1 Ακαθάριστο κέρδος

Ακαθάριστο κέρδος προϊόντος ονομάζεται η αξία ολόκληρου του προϊόντος που έχει παραχθεί από τη γεωργική εκμετάλλευση σε μία συγκεκριμένη παραγωγική περίοδο, συμπεριλαμβανομένων και των πιθανών επιδοτήσεων. Το κέρδος κάθε καλλιέργειας θεωρήθηκε ότι είναι ίσο με το άθροισμα της ακαθάριστης προσόδου και της επιδότησης. Ακαθάριστη πρόσοδος ορίζονται τα έσοδα εξ' ολοκλήρου από την καλλιέργεια, με ορισμένη απόδοση και τιμή προϊόντος (Myloropoulos et al, 2019).

4.3.2 Κόστος παραγωγής

Όσον αφορά το κόστος παραγωγής κάθε καλλιέργειας, ισούται με το σύνολο όλων των δαπανών (π.χ. λίπανση, ζιζανιοκτόνα, σπόρο, ψεκασμούς, αποφυλλωτικά, κόστος συγκομιδής, κόστος άρδευσης, πετρέλαιο, εργατικά, κόστος φύτευσης, μηχανικές εργασίες, γεωργικές εισφορές και σταθερά κόστη (π.χ. αποσβέσεις μηχανημάτων) (Myloropoulos et al, 2019).

4.3.3 Καθαρό κέρδος από την αγροτική δραστηριότητα

Για την εκτίμηση των καθαρών κερδών διαμορφώθηκε ένα απλό λογιστικό μοντέλο, όπως περιγράφει η Εξ. 4.15:

$$NP = GP - TPC \quad (4.15)$$

Όπου, NP είναι το καθαρό κέρδος (Net Profit) χωρίς το κόστος νερού, GP το ακαθάριστο κέρδος (Gross Profits) και TCP το συνολικό κόστος παραγωγής (Total Production Cost).

Αναλυτικά, το Ακαθάριστο Κέρδος (GP) προκύπτει με γνωστές τις παραμέτρους Απόδοση Παραγωγής (Yield), Τιμή Προϊόντος (Product Price) καθώς και τις Επιδοτήσεις

(Subsidies), που χορηγούνται για την εκάστοτε καλλιέργεια. Ακόμη, το Συνολικό Κόστος Παραγωγής (TCP) ορίζεται με βάση το Κόστος Παραγωγής (Product Price) της κάθε καλλιέργειας (Myloroulos et al., 2019).

Τα στοιχεία αυτά δίνονται από το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων με τιμές που ακολουθούν στον Πίνακα 4.6.

4.3.4 Δεδομένα για τον υπολογισμό καθαρών κερδών

Για τον υπολογισμό των καθαρών κερδών, χωρίς το κόστος νερού, χρειάζονται ως δεδομένα, η απόδοση της κάθε παραγωγής, η τιμή προϊόντος, οι επιδοτήσεις για κάθε καλλιέργεια καθώς και το κόστος παραγωγής.

Πίνακας 4. 6 Απόδοση παραγωγής, τιμή προϊόντος, επιδοτήσεις και κόστος παραγωγής για κάθε καλλιέργεια.

	Απόδοση Παραγωγής (kg/στρ)	Τιμή Προϊόντος (€/kg)	Επιδότησεις (€/στρ)	Κόστος Παραγωγής (€/στρ)
Μηδική	1500	0,173	60	150
Αραβόσιτος	1100	0,150	25	93
Σιτάρι	340	0,190	40	50
Βαμβάκι	330	0,430	85	135
Δενδρώδη	1000	0,530	65	240
Ζαχαρότευτλα	6700	0,045	40	230
Ντομάτες	5350	0,060	25	260
Ελιές	85	3,700	50	230
Αμπελώνες	750	0,430	33	220
Κηπευτικά	1950	0,260	-	270
Λοιπές καλλιέργειες	1000	0,530	65	240

4.4 Ποιοτική κατάσταση υδάτων

Για την ανάλυση της ποιότητας των Υδάτινων Σωμάτων (ΥΣ) της λεκάνης, συλλέχθηκαν δεδομένα συγκεντρώσεων ρύπων για τον Πηνειό, τον υπόγειο υδροφορέα και τον ταμιευτήρα της Κάρλας, ώστε να ελεγχθεί πού και σε ποιους ρύπους οι συγκεντρώσεις υπερβαίνουν τα επιτρεπόμενα όρια. Στη συνέχεια, κάνοντας χρήση των μέσων απαιτήσεων σε λίπανση των καλλιεργειών, ελέγχθηκε η διαχρονική εξέλιξη της επιβάρυνσης των ΥΣ, λόγω των καλλιεργητικών προτύπων κάθε έτους (αλλά και οι προοπτικές ελάφρυνσής τους, μέσα από τα διαχειριστικά σενάρια). Τέλος, εξετάστηκε η θετική συνεισφορά της ποσοτικής αναπλήρωσης στην ποιότητα νερού, μέσω της αραίωσης των ρύπων με τον όγκο νερού που μπορεί να εξοικονομηθεί λόγω των διαχειριστικών μέτρων που αναλύονται στη συνέχεια.

4.4.1 Μέσες απαιτήσεις σε λίπανση

Εκτιμήθηκε η διαχρονική εξέλιξη της χρήσης λιπασμάτων, με βάση τις μέσες απαιτήσεις λίπανσης των καλλιεργειών στην περίοδο μελέτης. Σκοπός ήταν να οριστεί το κατά πόσο έχει επιβαρυνθεί ο υπόγειος υδροφορέας έπειτα από την εντατική καλλιέργεια των

εκτάσεων. Η λίπανση ορίστηκε με βάση το απλό μαθηματικό μοντέλο που ακολουθεί, καθώς και οι τιμές λιπάσματος για κάθε καλλιέργεια (Myloroulos et al., 2019).

$$\text{Λίπανση (kg)} = \text{Λίπασμα (kg/στρ)} * \text{Έκταση καλλ. (στρ)} \quad (4.16)$$

Πίνακας 4. 7 Λίπασμα(kg/km²) που απαιτείται για κάθε καλλιέργεια.

Καλλιέργειες	Λίπασμα (kg/km ²)
Μηδική	3000
Αραβόσιτος	32500
Σιτάρι	14000
Βαμβάκι	15000
Δενδρώδη	15000
Ζαχαρότευτλα	18000
Ντομάτες	35000
Ελιές	18000
Αμπελώνες	12500
Κηπευτικά	15000
Λοιπές καλλιέργειες	15000

4.4.2 Δειγματοληψία έτους 2015

Το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων ελέγχει την ποιότητα του νερού του Πηνειού ποταμού με 21 σταθμούς δειγματοληψίας, ώστε να είναι κατάλληλο για τη χρήση του στην άρδευση. Η παρακολούθηση της ποιότητας του υπόγειου υδροφορέα είναι αρμοδιότητα του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ), μέσω ενός μεγάλου αριθμού πηγαδιών παρακολούθησης. Ο Φορέας Διαχείρισης Κάρλας-Μαυροβουνίου-Κεφαλόβρυσου-Βελεστίνου-Δέλτα Πηνειού είναι υπεύθυνος για την παρακολούθηση της ποιότητας του ταμιευτήρα της Κάρλας, μέσω πέντε σταθμών παρακολούθησης: (<http://www.fdkarlas.gr/Default.aspx>)

- Σταθμός 1 : Τάφρος 2T
- Σταθμός 2 : Αριάνη
- Σταθμός 3 : Παρατηρητήριο
- Σταθμός 4 : Τάφρος 1T
- Σταθμός 5 : Πελαγικός

Στα τρία αυτά ΥΣ, τα στοιχεία της ποιότητας που εξετάστηκαν περιλάμβαναν φυσικοχημικές παραμέτρους, όπως νιτρικά (NO³⁻), νιτρώδη (NO²⁻), θειούχα (SO₄²⁻), χλωριούχα (Cl⁻), σίδηρο (Fe), ασβέστιο (Ca²⁺), μαγνήσιο (Mg²⁺), ηλεκτρική αγωγιμότητα, καθώς και τα φυτοφάρμακα που αποτελούν τους κυριότερους οργανικούς ρύπους της περιοχής μελέτης. (Alamanos et al., 2019).

Συλλέχθηκαν επίσης στοιχεία από τη μελέτη των Augoustis et al. (2012), όπου εκτιμήθηκαν οι συγκεντρώσεις Ca, Na, Mg και K, καθώς και βαρέων μετάλλων σε 12 περιοχές της λεκάνης απορροής της λίμνης Κάρλας. Οι μετρήσεις αφορούν τη σήραγγα που αποστραγγίζει το νερό στον Παγασητικό κόλπο (δυτικά της λίμνης Κάρλας – S2, και συνεχίζει κοντά στο σφαγείο του χωριού Γυρτώνη – S11 και Ομορφοχώρι S12), καθώς και το Ασμάκι. Το Ασμάκι είναι ο κύριος αποδέκτης αποβλήτων από την βιομηχανική, γεωργική και αστική χρήση (Παππάς, 2017). Οι πηγές ρύπανσής του διακρίνονται σε

σημειακές, μη σημειακές και καλύπτονται από πηγές που δημιουργούν οργανική ρύπανση μεγάλης κλίμακας και μικρή χημική ρύπανση (π.χ βαφές, απόβλητα παραγωγής, χρήση λιπαντικών, σαπουνιών και απολυμαντικά). Οι βιομηχανικές μονάδες της περιοχής είναι ένα εργοστάσιο επεξεργασίας αλκοόλ (κοντά στον σταθμό S7) ένα κλωστοϋφαντουργικών βαφών (κοντά στο S8), ένα παραγωγής τροφίμων (κοντά στα σημεία S9 και S10) και τα σφαγεία Γυρτώνη (κοντά στο S11). Το σημείο δειγματοληψίας S12 είναι το μόνο που δέχεται νερό από τον ποταμό Πηνειό και το μόνο που έχει υπόστρωμα με τσιμέντο (Alamanos et al., 2019).

Οι κατευθυντήριες γραμμές, τα πρότυπα και οι κανονισμοί σχετικά με το νερό ύδρευσης, άρδευσης, βιομηχανικής χρήσης, οικολογικής χρήσης και περιβαλλοντικών ορίων για τη βιωσιμότητα των οικοσυστημάτων, καθορίζονται από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας και την Ευρωπαϊκή Ένωση (Loukas, 2010).

Με βάση τα παραπάνω, παραθέτονται τα αποτελέσματα δειγματοληψίας, δείχνοντας τις συγκεντρώσεις των χημικών παραμέτρων και φυτοφαρμάκων κάθε ζώνη τροφοδότησης.

Πίνακας 4. 8 Αποτελέσματα δειγματοληψίας-Χημικοί παράμετροι στον υπόγειο υδροφόρα

ΥΠΟΓΕΙΟΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑΣ		
Παράμετροι	Τιμές/Συγκεντρώσεις	Όρια
pH	7,76	9,5
Αγωγιμότητα (μS/cm)	862,74	2500
Ca ⁺² (mg/l)	77,26	100
Mg ⁺² (mg/l)	69,23	50
Na ⁺ (mg/l)	238,79	175
K ⁺ (mg/l)	9,34	12
Fe ⁺³ (mg/l)	0,26	0,2
Mn ⁺² (mg/l)	0,07	0,05
CO ₃ ⁻² (mg/l)	2,46	100
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	398,18	400
Cl ⁻ (mg/l)	155,04	250
SO ₄ ⁻² (mg/l)	106,61	250
PO ₄ ⁻³ (mg/l)	0,01	5
NO ₃ ⁻ (mg/l)	38,00	25
NO ₂ ⁻ (mg/l)	0,01	0,1
NH ₄ ⁺ (mg/l)	1,26	0,5

Πίνακας 4. 9 Αποτελέσματα δειγματοληψίας- Χημικοί παράμετροι στα επιφανειακά ύδατα Πηνειού.

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΠΗΝΕΙΟΥ		
Παράμετροι	Τιμή/Συγκέντρωση	Όρια
Ηλεκτρ.αγωγιμ/τα	1676,95	2500,00
Ph	8,15	9,50
Χλωριόντα Cl ⁻	68,98	250,00
Ασβέστιο	64,56	100
Μαγνήσιο Mg ⁺⁺	47,50	50
Νάτριο Na ⁺	62,15	175
SAR	1,75	<4,4 μικρός κίνδυνος νατρίου
Σκληρ/τα Ολική CaCO ₃	368,86	>300 Πολύ σκληρό
Παροδική -//-	307,84	>300 Πολύ σκληρό
Μόνιμη -//-	213,37	201-300 Σκληρό
Ασβεστίου -//-	77,82	0-100 Μαλακό
Μαγνησίου -//-	195,97	101-200 Μέτρια σκληρό
Θερμοκρασία	20,13	25
Διαλυμένο Οξυγόνο O ₂	78,06	100,00
Ποσοστό Κορεσμού	12,00	100,00
Νιτρικά NO ₃ ⁻	12,14	50,00

Πίνακας 4. 10 Αποτελέσματα δειγματοληψίας- Χημικές παράμετροι στον ταμιευτήρα της Κάρλας

ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑΣ ΚΑΡΛΑΣ		
Παράμετρος	Τιμές/ Συγκεντρώσεις	Όρια
Θερμοκρασία	17,75	25
Αγωγιμότητα μS/cm	503,00	2500
Διαλυμένο οξυγόνο mg/l	10,23	πρέπει ≥4 mg/l
pH	8,53	6 έως 9
NO ₃ Νιτρικά mg/l	19,70	25
NH ₄ mg/l	0,08	0,5
PO ₄ mg/l	0,66	0,03
Χλωροφύλλη-α (μg/l)	178,32	2,21
Φυκοκυανίνη mg/l	2548,02	50-100 μg/l μέτριο σε νερά αναψυχής
ΒΑΘΟΣ SECCHI (cm)	0,18	4
NO ₂ Νιτρώδη (mg/l)	0,13	0,5
Αιωρούμενα στερεά (mg/l)	361,00	≤ 10 mg/l για το 80% των δειγμάτων
COD (mg/l)	62,00	≤ 10 mg/l για το 80% των δειγμάτων
Πετρελαϊκοί υδρογονάνθρακες (μg/l)	23,90	0,1
Cu (μg/l)	3,84	2
Cr (μg/l)	1,23	50
Zn (μg/l)	0,20	2 mg/l
Hg (μg/l)	0,10	1

Πίνακας 4. 11 Αποτελέσματα δειγματοληψίας-Γεωργικά φάρμακα στον υπόγειο υδροφόρο

ΥΠΟΓΕΙΟΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑΣ

Γεωργικό Φάρμακο	Συγκέντρωση (mg/l)	Όρια
2,4-D	0,106	0,10
Acetochlor	0,095	0,10
Alphamethrin	0,059	0,10
Bentazone	0,261	0,1
Boscalid	0,028	0,1
c-HCH	0,025	0,1
chlorpyrifos ethyl	0,021	0,1
alachlor	0,205	0,1
chlorpyrifos- methyl	0,026	0,1
Dimethoate	0,015	0,1
diphenylamine	0,036	0,1
fluazifop-P- butyl	0,108	0,1
Fluometuron	0,514	0,25
Imazalil	0,036	0,3
Imidachloprid	0,066	0,3
Pendimethalin	0,063	0,3
pirimiphos methyl	0,01	0,3
prometryne	0,211	0,1
S-metolachlor	0,146	0,1
Tebuconazole	0,166	0,1
Terbuthylazine	0,04	0,1

Πίνακας 4. 12 Αποτελέσματα δειγματοληψίας- Γεωργικά φάρμακα στα επιφανειακά Πηνειού

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΠΗΝΕΙΟΥ

Γεωργικό Φάρμακο	Συγκεντρώσεις (μg/l)	Όρια
2,4-D	0,342	0,10
Acetochlor	0,063	0,10
Alphamethrin	0,064	0,10
Bentazone	0,294	0,1
Boscalid	0,035	0,1
c-HCH	0,071	0,1
chlorpyrifos ethyl	0,136	0,1
alachlor	0,52	0,1
chlorpyrifos- methyl	0,052	0,1
Dimethoate	0,019	0,1
diphenylamine	0,057	0,1
fluazifop-P- butyl	0,11	0,1
Fluometuron	5,311	0,3
Imazalil	0,07	0,5

Γεωργικό Φάρμακο	Συγκεντρώσεις (μg/l)	Όρια
Imidachloprid	0,092	0,50
Pendimethalin	0,07	0,50
pirimiphos methyl	0,018	0,50
prometryne	1,791	0,1
S-metolachlor	1,126	0,1
Tebuconazole	0,516	0,1
Terbuthylazine	0,106	0,1

Πίνακας 4. 13 Αποτελέσματα δειγματοληψίας-Γεωργικά φάρμακα στον ταμιευτήρα της Κάρλας.

TAMIEYTHPAS KAPΛAS

Γεωργικό Φάρμακο	Συγκεντρώσεις (mg/l)	Όρια
2.4-D	0,025	0,10
Amertyn	0,01	0,10
Atrazine	0,01	0,10
Desethyl-atrazine	0,01	0,1
Acetamiprid	0,025	0,1
Azinphos-ethyl	0,025	0,1
Azoxystobin	0,025	0,1
Burimate	0,025	0,1
Buprofezin	0,025	1
Carbaryl	0,025	0,1
Carbendazim/Benomyl	0,025	0,1
Carbofuran	0,025	0,1
3-Hydroxy-Carbofuran	0,025	0,1
Chlorfenvinphos	0,025	0,1
Chlorpyrifos Et	0,1	0,1
Chlorpyrifos Me	0,1	0,3
Cyanazine	0,01	0,5
Diazinon	0,1	0,5
Demeton-S-methyl	0,05	0,50
Dimethoate	0,025	0,50
Dimetomorph	0,025	0,50
Disulfoton-sulfoxide	0,025	0,1
Disulfoton-sulfone	0,025	0,1
Etrimfos	0,1	0,1
Fenitrothion	0,1	0,1
Epoxiconazole	0,025	0,1
Fenitrophion	0,1	0,1
Fenpropimorph	0,025	0,1
Fludioxonil	0,025	0,1

Γεωργικό Φάρμακο	Συγκεντρώσεις (mg/l)	Όρια
Flusilazole	0,025	0,1
Imazalil	0,025	0,1
Imidachloprld	0,025	0,1
Iprovalicarb	0,025	0,1
Kseroxim-methyl	0,025	0,1
Malathion	0,1	0,1
MCPA	0,025	0,1
Mecoprop	0,025	0,1
Mepanipyrin	0,025	0,1
Metalaxyl	0,025	0,1
Metconazole	0,025	0,1
Methyocarbs	0,025	0,1
Methomyl	0,025	0,1
Metribuzine	0,01	0,1
Monocrotophos	0,025	0,1
Myclobutanil	0,025	0,1
Oxadixyl	0,025	0,1
Oxamyl	0,025	0,1
Paclobutrazol	0,025	0,1
Parathion	0,1	0,1
Penconazole	0,025	0,1
Picoxystrobin	0,025	0,1
Pirimicarb	0,025	0,1
Pirimiphos-Me	0,1	0,1
Prochloraz	0,025	0,1
Prometryn	0,01	0,1
Propazine	0,01	0,1
Propiconazole	0,025	0,1
Propoxur	0,025	0,1
Pyraclostrobin	0,025	0,1
Pyrazophos	0,025	0,1
Pyrimethanil	0,025	0,1
Pyriproxyfen	0,025	0,1
Quinoxifen	0,025	0,1
Simazine	0,01	0,1
Spiroxamine	0,025	0,1
Tebuconazole	0,025	0,1
Tebufenozide	0,025	0,1
Terbuthylazine	0,01	0,1
Tetraconazole	0,025	0,1
Thiabendazole	0,025	0,1
Thiachloprid	0,025	0,1
Thiodicarb	0,025	0,1

Γεωργικό Φάρμακο	Συγκεντρώσεις (mg/l)	Όρια
Triadimenol	0,025	0,1
Trifloxystrobin	0,025	0,1
Triazophos	0,025	0,1

4.4.3 Μείωση ελλειμάτων – ποιοτική αναβάθμιση μέσω αραίωσης

Η αύξηση του αποθέματος νερού, με τη μείωση του ελλείματος στο υδατικό ισοζύγιο, οδηγεί στην ποιοτική αναβάθμιση των υπογείων υδάτων. Αυτό γιατί, οι συγκεντρώσεις των μελετώμενων χημικών παραμέτρων και γεωργικών φαρμάκων μειώνονται μέσω της διαδικασίας της αραίωσης, μιας και ο όγκος των υδάτων πλέον αυξάνεται (Myloropoulos et al., 2019). Η μεταβολή της συγκέντρωσης υπολογίζεται μέσω της σχέσης 4.17 που συνδέει τη δεδομένη μάζα και τον όγκο του διαλύματος, όπως φαίνεται παρακάτω:

$$c = m/V \text{ (4.17)}$$

Όπου c η συγκέντρωση m η μάζα και V ο όγκος που ανανεώνεται με την αναπλήρωση.

4.5 Αποτίμηση αξίας νερού

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, ο υπολογισμός της αξίας του νερού στη γεωργία, καθώς και της χωρικής διαφοροποίησης αυτής της αξίας σε ολόκληρη τη λεκάνη της Κάρλας, αποτελεί ένα πολύ βασικό μέτρο σύγκρισης για κάθε οικονομικό αποτέλεσμα. Για το σκοπό αυτό, επιλέχθηκε και εφαρμόστηκε η μέθοδος της “μεταβολής του ακαθάριστου κέρδους”, η οποία στηρίζεται στην έμμεση εκτίμηση της συμβολής των αρδεύσεων στο γεωργικό εισόδημα, συγκρίνοντας το οικονομικό αποτέλεσμα δύο διαφορετικών σεναρίων προσφοράς ή κατανάλωσης αρδευτικού νερού στην περιοχή μελέτης. Σημειώνεται ότι η μεταβολή του ακαθάριστου κέρδους (change in net-income) αποτελεί προέκταση μιας γενικότερης μεθόδου αποτίμησης της αξίας του νερού ως ενδιάμεσου πόρου για την παραγωγή άλλων αγαθών, η οποία ονομάζεται υπολειμματική αποτίμηση (residual valuation). Απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή της υπολειμματικής αποτίμησης είναι η σωστή εκτίμηση της προστιθέμενης αξίας κάθε παραγωγικού πόρου στη διαδικασία παραγωγής (Λατινόπουλος, 2006). Με άλλα λόγια, όταν είναι εφικτή η χρήση κατάλληλων τιμών για όλες τις εισροές εκτός από μια (το νερό στη συγκεκριμένη περίπτωση), το υπόλοιπο της συνολικής αξίας του προϊόντος είναι δυνατόν να αποδοθεί σ’ αυτήν, δηλαδή στην υπολειπόμενη εισροή (Heady, 1952).

Γίνεται, συνεπώς, αντιληπτό ότι η συγκεκριμένη μέθοδος βρίσκει πεδίο εφαρμογής κυρίως σε περιπτώσεις μονοκαλλιέργειας καθώς και σε περιπτώσεις που χρησιμοποιείται ως επίπεδο αναφοράς η γεωργική εκμετάλλευση. Όταν, όμως εξετάζεται ένα σχέδιο παραγωγής που περιλαμβάνει πολλές καλλιέργειες, το οποίο μάλιστα συνήθως χαρακτηρίζει μια ευρύτερη γεωργική περιοχή (π.χ. ένα δημοτικό διαμέρισμα ή ακόμα και μια λεκάνη απορροής), είναι προτιμότερη η επιλογή της μεθόδου της “μεταβολής του ακαθάριστου κέρδους”. Σύμφωνα μ’ αυτήν, η επιθυμία για πληρωμή ενός γεωργού σε μια δεδομένη αύξηση της ποσότητας του νερού θεωρείται ίση με τη μεταβολή του γεωργικού εισοδήματος που συνεπάγεται η συγκεκριμένη αύξηση του νερού

(Λατινόπουλος, 2006). Σε αρκετές περιπτώσεις συγκρίνεται το οικονομικό αποτέλεσμα δύο ακραίων καλλιεργητικών σεναρίων, όπως για παράδειγμα μεταξύ της αρδευόμενης και της ξηρικής γεωργίας στην ίδια περιοχή και σε δεδομένες κλιματολογικές και εδαφολογικές συνθήκες (Gibbons, 1986). Η διαφορά στο οικονομικό τους αποτέλεσμα (ακαθάριστο κέρδος) μπορεί να θεωρηθεί ότι οφείλεται εξολοκλήρου στους υδατικούς πόρους που καταναλώνονται μέσω των αρδεύσεων και να αποτελέσει επομένως την αξία του αρδευτικού νερού ως ενδιάμεσου αγαθού παραγωγής γεωργικών προϊόντων (Μπαλτάς και Σειμένης, 2010).

Η εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου προτείνεται κυρίως για περιοχές όπου το νερό συνεισφέρει σε σημαντικό βαθμό στην αξία των παραγόμενων γεωργικών προϊόντων, έτσι ώστε να αποφεύγονται, κατά το δυνατόν, σημαντικές αποκλίσεις από την πραγματική αξία που μπορεί να προκύψουν όταν κάποια εισροή, είτε δεν ληφθεί υπόψη, είτε υπολογιστεί λανθασμένα (Young, 1996). Κρίνεται, επομένως, κατάλληλη για τον υπολογισμό της αξίας χρήσης του αρδευτικού νερού στην παρούσα διπλωματική, καθώς: το χωρικό επίπεδο μελέτης περικλείει μια ολόκληρη λεκάνη απορροής (σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία Πλαίσιο για το Νερό), στην οποία μάλιστα υπάρχει πληθώρα διαφορετικών καλλιεργειών, οι περισσότερες από τις οποίες όμως δεν αρδεύονται εντατικά.

Στην πράξη η “μεταβολή του ακαθάριστου κέρδους” εφαρμόζεται, συνήθως, για την αξιολόγηση ενός αρδευτικού δικτύου που πρόκειται να κατασκευαστεί, υπολογίζοντας τη δυνητική προστιθέμενη αξία του νερού στο ήδη υπάρχον γεωργικό εισόδημα (Rodriguez et al., 2002). Στην παρούσα εργασία, ωστόσο, ακολουθήθηκε μια αντίστροφη διαδικασία, γιατί στην περιοχή μελέτης υπάρχουν πλήρως εγκατεστημένα μεγάλα αρδευτικά δίκτυα, τα οποία λειτουργούν εδώ και δεκαετίες. Έτσι, η μεταβολή του ακαθάριστου κέρδους χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της αξίας του νερού στο πλαίσιο μιας πιθανής απώλειας γεωργικού εισοδήματος εξαιτίας της παύσης των αρδεύσεων και της υποχρεωτικής χρήσης ξηρικών καλλιεργειών. Ο λόγος που προτιμήθηκε αυτού του είδους η ανάλυση είναι γιατί θεωρήθηκε πιο χρήσιμο, αλλά και μεθοδολογικά πιο ορθό, να γίνει μια εκ των προτέρων αποτίμηση της αξίας του νερού που θα χαθεί εξαιτίας μιας πιθανής μεταγενέστερης πολιτικής μείωσης των αρδεύσεων παρά μια εκ των υστέρων αποτίμηση των αρδευτικών δικτύων που λειτουργούν στην περιοχή εδώ και πολλά χρόνια (Λατινόπουλος και Μυλόπουλος, 2005).

Συχνή εφαρμογή, ανεξαρτήτως των παραπάνω, βρίσκει και ο γραμμικός προγραμματισμός ως επίλυση ειδικά διαμορφωμένων προβλημάτων. Πιο συγκεκριμένα, σε αυτές τις περιπτώσεις είναι εφικτό να εξεταστεί η επίδραση διαφόρων επιπέδων τιμών του αρδευτικού, στη συνολική κατανάλωσή του, στα όρια μιας περιοχής μελέτης (συνήθως μιας γεωργικής εκμετάλλευσης), καθώς και η εύρεση της οριακής αξίας του νερού στη γεωργία. Ακόμη, μπορεί να εκτιμηθεί το κατά πόσο η μεταβολή στην προσφερόμενη ποσότητα νερού, θα επιδράσει στην αξία του. Έτσι, συνδυαστικά ο γραμμικός προγραμματισμός και η μεταβολή του ακαθάριστου κέρδους μπορούν να εφαρμοστούν σε περιπτώσεις όπου καθίσταται αδύνατη η εκτεταμένη γνώση στοιχείων και παραμέτρων, έχοντας ως βάση μια περιοχή αναφοράς που εμπίπτει στα χαρακτηριστικά αυτής που μελετάται.

4.5.1 Ανάπτυξη λογιστικού μοντέλου

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η ανά μονάδα όγκου αξία του αρδευτικού νερού ($WVAL_j$), εκφρασμένη σε €/m³, σε μια περιοχή αναφοράς j , η οποία βρίσκεται εντός της περιοχής μελέτης, θα προκύπτει από το γενικό τύπο:

$$WVAL_j = INPA_j / TCWR_j \quad (4.18)$$

όπου, ο αριθμητής ($INPA_j$) ορίζει τη μεταβολή του ακαθάριστου κέρδους των γεωργικών εκμεταλλεύσεων (στην περιοχή αναφοράς) εξαιτίας των αρδεύσεων, ενώ ο παρονομαστής ($TCWR_j$) εκφράζει τις συνολικές απαιτήσεις σε νερό όλων των αρδευόμενων καλλιεργειών της περιοχής αυτής. Η εξίσωση αυτή είναι σχεδόν ταυτόσημη με την αντίστοιχη εξίσωση των Tardieu και Prefol (2002). Οι τελευταίοι, ονομάζουν τον παραπάνω λόγο ως “στρατηγική αξία του νερού” στη γεωργία, μια αξία δηλαδή η οποία φανερώνει τις στρατηγικές επιλογές που έχει ο γεωργός στο να μπορεί να τροποποιήσει το σχέδιο παραγωγής του και να προσαρμόσει τις αρδευτικές του ανάγκες σύμφωνα με τη συνολικά προσφερόμενη ποσότητα νερού στην αρχή κάθε καλλιεργητικής περιόδου. Στην ενότητα που ακολουθεί, παρουσιάζεται ο τρόπος υπολογισμού των συνολικών απαιτήσεων σε νερό των καλλιεργειών κάθε περιοχής αναφοράς ($TCWR_j$), βάσει της εκτίμησης της εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών, αλλά και των επιλεγόμενων πρακτικών και μεθόδων άρδευσης. Πριν από αυτό όμως κρίνεται απαραίτητο να διατυπωθεί το μαθηματικό μοντέλο που θα αποτιμά τις μεταβολές του ακαθάριστου κέρδους των εκμεταλλεύσεων κάθε περιοχής ($INPA_j$). Για την εκτίμηση λοιπόν της μεταβολής του ακαθάριστου κέρδους είναι σκόπιμο να υπολογιστούν πρώτα οι μεταβολές λόγω της άρδευσης (λόγω της προτίμησης δηλαδή της αρδευόμενης από την ξηρική γεωργία) σε δύο άλλα μεγέθη: α) στην ακαθάριστη πρόσοδο (BPA_j), και β) στις δαπάνες των γεωργικών εκμεταλλεύσεων (CPA_j) (Rodriguez et al., 2002). Οι μεταβολές αυτές συνδέονται με τη σχέση:

$$INPA_j = IBPA_j - CPA_j \quad (4.19)$$

Όσον αφορά τη μεταβολή της ακαθάριστης προσόδου μιας περιοχής j , αυτή προκύπτει από τη παρακάτω σχέση, στην οποία παραλείπεται ο δείκτης j για απλότητα στους υπολογισμούς:

$$BPA = \sum_i^m Y_i^1 P_{yi}^1 S_i^1 - \sum_i^{m'} Y_i^0 P_{yi}^0 S_i^0 \quad (4.20)$$

Οι εκθέτες “0” και “1” αντιστοιχούν στις δυο διαφορετικές καταστάσεις από πλευράς αρδεύσεων. Συγκεκριμένα, ο εκθέτης “1” αναφέρεται στην υφιστάμενη κατάσταση όπου το σύνολο σχεδόν των εκτάσεων αρδεύεται εντατικά, ενώ ο εκθέτης “0” αναφέρεται στο βέλτιστο σε κάθε περίπτωση σχέδιο παραγωγής χωρίς την πραγματοποίηση των αρδεύσεων (περιλαμβάνει δηλαδή μόνο ξηρικές καλλιέργειες). Όσον αφορά τους υπόλοιπους συμβολισμούς ισχύουν:

i = είδος καλλιέργειας

m = σύνολο καλλιεργειών στην υφιστάμενη κατάσταση

m' = σύνολο καλλιεργειών στο βέλτιστο ξηρικό σχέδιο

$Y1$ = απόδοση αρδευόμενων καλλιεργειών (kg/στρέμμα)

$S1$ = έκταση αρδευόμενων καλλιεργειών (στρέμματα)

P_{y1} = τιμή προϊόντων αρδευόμενων καλλιεργειών (€/kg)

$Y0$ = απόδοση ξηρικών καλλιεργειών (kg/στρέμμα) $S0$ = έκταση ξηρικών καλλιεργειών (στρέμματα)

P_{y0} = τιμή προϊόντων ξηρικών καλλιεργειών (€/kg)

Αντίστοιχα, για την ίδια περιοχή j υπολογίστηκε και η μεταβολή των δαπανών των γεωργικών εκμεταλλεύσεων σύμφωνα με τον τύπο:

$$CPA = \sum_i^m C_i^1 S_i^1 - \sum_i^{m'} C_i^0 S_i^0 \quad (4.21)$$

Όπως αναφέρθηκε στη μεθοδολογία, λόγω μιας πιθανής παύσης των αρδεύσεων ο γεωργός τείνει να αντικαταστήσει τις υφιστάμενες καλλιέργειες του σε δυνητικές ξηρικές, δηλαδή σε καλλιέργειες που απαιτούν ελάχιστες ποσότητες νερού. Σύμφωνα με τον πίνακα αντιστοίχισης υφιστάμενων-ξηρικών καλλιεργειών της διατριβής του Δ. Λατινόπουλου καθώς και το είδος των καλλιεργειών της περιοχής μελέτης, οι αντιστοιχίες που επιλέχθηκαν να γίνουν φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4. 14 Αντιστοίχιση ξηρικών με αρδευόμενων καλλιεργειών για την εύρεση αξίας νερού. (Λατινόπουλος, 2006).

Αρδ. Καλλιέργειες	Αντίστοιχη ξηρική
Μηδική	Βίκο για σανό
Αραβόσιτος	Κριθάρι
Σιτάρι	Σιτάρι
Βάμβακι	Βάμβακι ξηρικό
Δενδρώδη	Ελιές ξηρικές
Ζαχαρότευτλα	Όσπρια
Ντομάτες	Αρακάς
Ελιές	Ελιές ξηρικές
Αμπελώνες	Αμπελώνες ξηρικό
Κηπευτικά	Μπάμιες ξηρικές
Λοιπές καλλιέργειες	Αμπέλι ξηρικό

4.6 Καλλιεργητές

Αξίζει να σημειωθεί ότι οποιαδήποτε πρόταση και μεταρρύθμιση παρουσιαστεί, είναι σημαντικό να μπορεί να γίνει αποδεκτή από τους άμεσα ενδιαφερόμενους. Η επιλογή του κατάλληλου διαχειριστικού σεναρίου είναι αρκετά περίπλοκη, καθώς πρέπει να ληφθούν υπόψην αρκετοί παράμετροι. Με βάση την έρευνα του Μπουζούκη το 2016 μπορούμε να αντλήσουμε πληροφορίες σχετικά με τη στάση και τη νοοτροπία των αγροτών, στην υφιστάμενη περιοχή μελέτης, όπως θα αναλυθεί στο Κεφάλαιο 7.

4.7 Σύγκριση με άλλες περιοχές

Για μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα και αποτίμηση της κατάστασης μεγάλων αρδευτικών λεκανών της χώρας, επιλέχθηκαν οι λεκάνες απορροής Αλμυρού, Κορώνειας, Λουδία. Η σύγκριση έγινε σε επίπεδο ίδιων παραμέτρων με τη παρούσα εργασία, όπου η βιβλιογραφία ήταν επαρκής. Η προσπάθεια σύγκρισης, αναλύεται στο Κεφάλαιο 9.

4.8 Διαχειριστικά σενάρια

Από τη γενική εικόνα εκμετάλλευσης των υδατικών αποθεμάτων της Κάρλας επιβεβαιώνεται ότι το υδατικό δυναμικό της Κάρλας δέχεται μεγάλη ανθρωπογενή πίεση για την κάλυψη αρδευτικών αναγκών. Η διατάραξη του υδατικού ισοζυγίου και η μεγάλη περιβαλλοντική αλλά και οικονομική καταστροφή που τη συνοδεύει, οδηγεί:

- στην εξάντληση των αποθεμάτων του υπόγειου υδροφορέα
- στη σοβαρή μείωση των παροχών των ποταμών
- στον επαπειλούμενο κίνδυνο της ερημοποίησης μιας γης, κάποτε γόνιμης και ανθούσας
- και στην οικονομική καταστροφή των κατοίκων της περιοχής,

καθιστώντας το ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα περιβαλλοντικού και αναπτυξιακού προβλήματος που χρήζει ιδιαίτερης αντιμετώπισης.

Το παρόν έργο, στοχεύει στην αξιολόγηση των στοιχείων και των πρωτογενών δεδομένων, ώστε να μπορεί να αποτελέσει ένα εξαιρετικό εργαλείο για την Ολοκληρωμένη Διαχείριση των Υδατικών Πόρων της Θεσσαλίας. Στο πλαίσιο που θέτει η τελευταία, και με δεδομένο το εξαιρετικά οξύμενο υδατικό πρόβλημα της περιοχής, οι δράσεις που πρέπει να αναδειχθούν και τα αντίστοιχα μέτρα θα πρέπει να κινούνται πάνω σε τρεις βασικούς άξονες:

- την εξοικονόμηση του χρησιμοποιούμενου νερού
- τη βιώσιμη αξιοποίηση των αποθεμάτων και
- την αύξηση της αποδοτικότητας των υδραυλικών έργων

Στον τομέα της εξοικονόμησης των χρησιμοποιούμενων υδατικών πόρων οι προτάσεις θα διέπονται από τις αρχές της Διαχείρισης της Ζήτησης, που αποτελεί πλέον διεθνώς την πιο σημαντική συνιστώσα της Ολοκληρωμένης Διαχείρισης των Υδατικών Πόρων. Στο πλαίσιο μίας ορθολογικής διαχείρισης των υδατικών πόρων, μπορούν να εξεταστούν και να εφαρμοστούν μέτρα, τέτοια ώστε να επιτευχθεί μείωση της ζήτησης του νερού. Και επειδή η μεγαλύτερη κατανάλωση νερού αφορά την άρδευση, πιθανά μέτρα πρέπει να αποσκοπούν κυρίως στη μείωση αυτής της υδατικής χρήσης.

Γίνεται σαφές ότι η οποιαδήποτε διαχείριση των υδατικών πόρων στη λεκάνη απορροής της Κάρλας, απαιτεί τον συνυπολογισμό πολλών παραμέτρων και συνιστωσών. Οι υδατικές γεωργικές απαιτήσεις είναι τεράστιες και η σπουδαιότητα κάλυψης αυτών εξίσου μεγάλη, καθώς η οικονομία της περιοχής στηρίζεται κατά το μεγαλύτερο ποσοστό στη γεωργία. Γι' αυτό και θα είναι δύσκολο να διακριθεί μία και μόνο πρόταση-λύση που να ικανοποιεί το σύνολο των απαιτήσεων.

Έτσι οι προτάσεις – διαχειριστικά σενάρια που αναλύονται στη συνέχεια διακρίνονται αναγκαστικά σε δυο κατηγορίες: αυτές που εμπίπτουν στο γενικό πλαίσιο της Διαχείρισης της Ζήτησης και σε αυτές που αφορούν στη δημιουργία - κατασκευή νέων υδραυλικών έργων (Ταμιευτήρας Κάρλας και μελλοντικό δίκτυο άρδευσης) (Alamanos, 2017).

- **Σενάριο 1:** Βασικό σενάριο (baseline scenario), είναι η υφιστάμενη κατάσταση χωρίς τη λειτουργία του ταμιευτήρα της Κάρλας και του μελλοντικού δικτύου άρδευσης. Οι υδατικές απαιτήσεις καλύπτονται από τον υπόγειο υδροφορέα και από τον ποταμό Πηνειό.

- **Σενάριο 1a:** Βελτίωση απόδοσης δικτύου - μείωση των απωλειών των καναλιών. Τα ανοιχτά αρδευτικά κανάλια δεν είναι σε καλή κατάσταση, στερούνται συντήρησης και έχουν μεγάλες απώλειες νερού λόγω εξάτμισης, ειδικά τους καλοκαιρινούς μήνες, όπου και οι ανάγκες αυξάνονται. Πρακτικά, αυτό επιτυγχάνεται καθαρίζοντας (από βλάστηση και σκουπίδια) και συντηρώντας τα αρδευτικά κανάλια του ΤΟΕΒ Πηνειού.
- **Σενάριο 1b:** Αντικατάσταση των μεθόδων άρδευσης με αποδοτικότερες. Το σενάριο αυτό βασίζεται στην παραδοχή ότι ο καταιονισμός αντικαθίσταται από τη στάγδην άρδευση, η οποία είναι αποδοτικότερη, συμβαδίζοντας με την πολιτική που προώθησαν οι τελευταίες κρατικές ενισχύσεις στους αγρότες της περιοχής, για αυτό το σκοπό.
- **Σενάριο 1c:** Ανακατανομή καλλιεργειών με αντικατάσταση του 25% της καλλιέργειας βαμβακιού με σιτάρι.
- **Σενάριο 1d:** Αντικατάσταση του 20% της καλλιέργειας βαμβακιού με 10% σιτάρι και 10% αραβόσιτο, στην υφιστάμενη κατάσταση.
- **Σενάριο 2:** Μελλοντική κατάσταση, με λειτουργία του ταμιευτήρα της Κάρλας και του δικτύου άρδευσης. Πλέον οι περιοχές που αρδεύονταν από τον υπόγειο υδροφόρο εξυπηρετούνται από επιφανειακά ύδατα του ταμιευτήρα. Υπάρχουν τρεις νέες ζώνες που είναι ουσιαστικά και η διαφορά των Σεναρίων (καταστάσεων) 1 και 2.
- **Σενάριο 2a:** Βελτίωση απόδοσης δικτύου - μείωση των απωλειών των καναλιών στην κατάσταση 2, όπως ακριβώς θεωρήθηκε και στο Σενάριο 1a.
- **Σενάριο 2b:** Αντικατάσταση καταιονισμού με στάγδην άρδευση στην κατάσταση 2, όπως ακριβώς θεωρήθηκε και στο Σενάριο 1b.
- **Σενάριο 2c:** Αντικατάσταση του 25% της καλλιέργειας βαμβακιού με σιτάρι, πάνω στην κατάσταση 2, όπως ακριβώς θεωρήθηκε και στο Σενάριο 1c.
- **Σενάριο 2d:** Αντικατάσταση του 20% της καλλιέργειας βαμβακιού με 10% σιτάρι και 10% αραβόσιτο, πάνω στην κατάσταση 2, όπως ακριβώς θεωρήθηκε και στο Σενάριο 1d.

Η ανάπτυξη των Σεναρίων 2b και 2c βασίστηκε στην κατανομή αυτών των τριών καλλιεργειών στη Θεσσαλία τα τελευταία πέντε χρόνια, και στους στόχους που θέτει η Κοινή Αγροτική Πολιτική (ΚΑΠ 2015-2020), η οποία παρέχει περισσότερες ευκαιρίες στη διαχείριση για εξοικονόμηση υδατικών πόρων (π.χ. οικονομικά κίνητρα και επιδοτήσεις για τον περιορισμό των υδροβόρων καλλιεργειών).

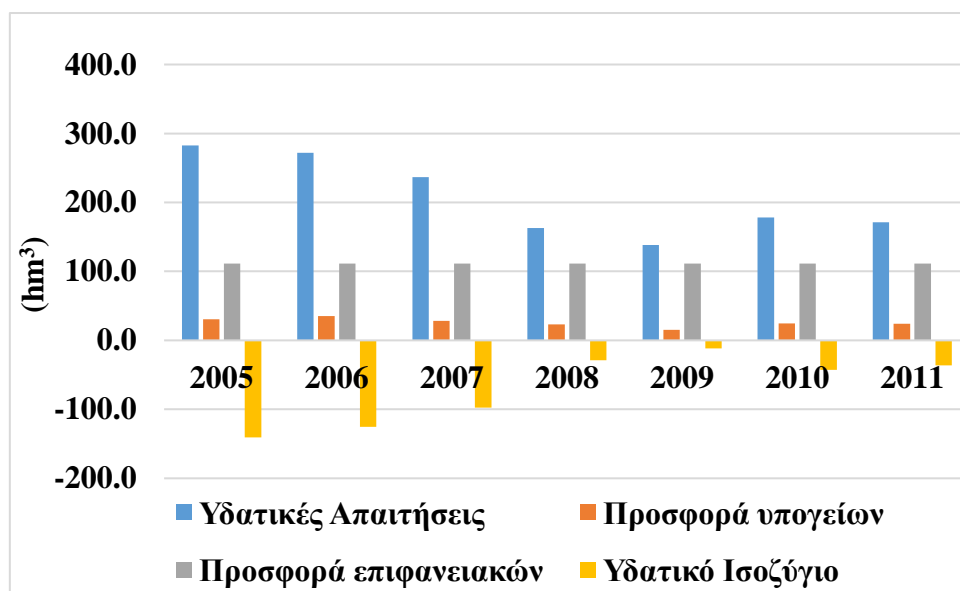
5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1 Υδατικές απαιτήσεις

5.1.1 Έτη 2005-2011

Πίνακας 5. 1 Υδατικές απαιτήσεις, προσφορά υπογείων και επιφανειακών, και υδατικό ισοζύγιο για τα έτη 2005-2011.

(hm ³)	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Υδατικές Απαιτήσεις	282,5	271,9	236,8	163,1	138,3	178,4	171,4
Προσφορά υπογείων	30,7	35,4	28,2	23,2	15,3	24,4	23,9
Προσφορά επιφανειακών	111,2	111,2	111,2	111,2	111,2	111,2	111,2
Υδατικό Ισοζύγιο	-140,6	-125,3	-97,3	-28,6	-11,8	-42,8	-36,3



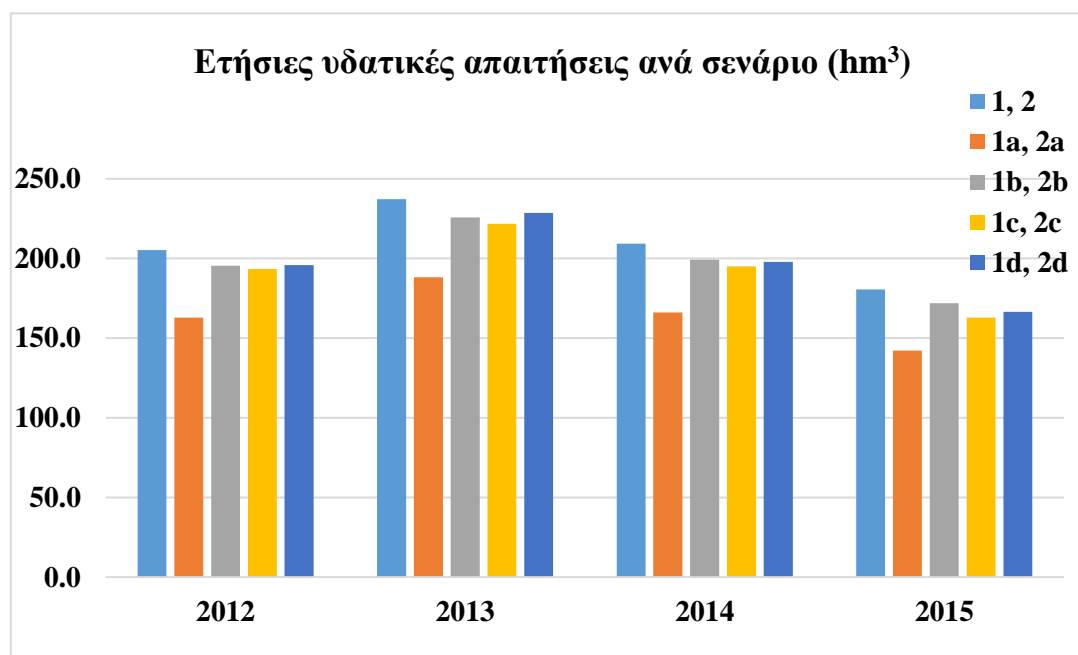
Σχήμα 5. 1 Υδατικές απαιτήσεις, προσφορά υπογείων και επιφανειακών, και υδατικό ισοζύγιο για τα έτη 2005-2011.

Για τα πρώτα έτη της χρονοσειράς (2005-2011) βρέθηκαν οι υδατικές απαιτήσεις, η προσφορά υπογείων και επιφανειακών υδάτων και το υδατικό ισοζύγιο, όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.1. Οι υδατικές απαιτήσεις εμφανίζουν μια μείωση που οφείλεται στη διαφορετική κατανομή των γεωργικά εκμεταλλεύσιμων εκτάσεων ανά τα χρόνια. Κατ' επέκταση μικρότερο έλλειμα υδατικού ισοζυγίου συναντάται χρόνο με τον χρόνο, καθώς η προσφορά υπογείων και επιφανειακών είναι περίπου σταθερή για όλα τα έτη.

5.1.2 Ετήσιες υδατικές απαιτήσεις ανά σενάριο

Πίνακας 5. 2 Ετήσιες υδατικές απαιτήσεις (hm³) ανά σενάριο για τα έτη 2012-2015.

	Ετήσιες υδατικές απαιτήσεις (hm ³)			
	2012	2013	2014	2015
1, 2	205,2	237,1	209,2	180,5
1a, 2a	162,9	188,2	166,0	142,1
1b, 2b	195,4	225,8	199,2	171,9
1c, 2c	193,5	221,8	195,0	162,9
1d, 2d	195,8	228,6	197,8	166,4



Σχήμα 5. 2 Ετήσιες υδατικές απαιτήσεις ανά σενάριο.

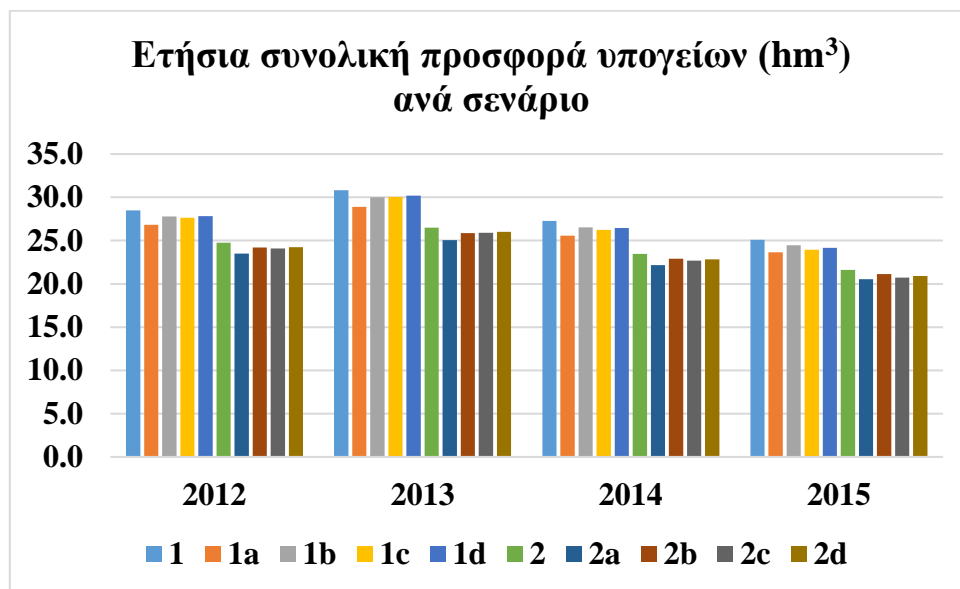
Για τα έτη εφαρμογής σεναρίων 2012-2015, υπολογίστηκαν οι ετήσιες υδατικές απαιτήσεις. Αντιστοιχούν στις συνολικές υδατικές απαιτήσεις και από τις τρεις ζώνες εξυπηρέτησης (υπόγειος υδροφόρας, επιφανειακά ύδατα, ταμιευτήρας Κάρλας), που παραμένουν ίδιες πριν και μετά την λειτουργία ταμιευτήρα. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.2, οι υδατικές απαιτήσεις εμφανίζουν μείωση ανά τα χρόνια, λόγω μείωσης εκτάσεων ή λόγω αύξησης εκτάσεων λιγότερο υδροβόρων καλλιεργειών.

Κάθε σενάριο επιτυγχάνει μείωση των υδατικών απαιτήσεων αποδεικνύοντας για ακόμη μια φορά τη σημασία διαχείρισης. Η ανακατανομή καλλιεργειών (σενάρια 2c, 2d), και η χρήσης μιας αποδοτικότερης μεθόδου άρδευσης (στάγδην, σενάριο 2b) είναι αποτελεσματικές, με την ανακατανομή να φέρει λιγότερες υδατικές απαιτήσεις. Βέβαια η βελτίωση απόδοσης δικτύου (σενάριο 2a), όπως ο καθαρισμός των καναλιών, αντιστοιχεί στις λιγότερες υδατικές απαιτήσεις για όλα τα χρόνια σε σχέση με τα υπόλοιπα σενάρια, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 5.2.

5.1.3 Προσφορά υπογείων υδάτων ανά σενάριο

Πίνακας 5. 3 Συνολική προσφορά υπογείων υδάτων (hm^3) για τα έτη 2012-2015

	Συνολική προσφορά υπογείων (hm^3)			
	2012	2013	2014	2015
1	28,5	30,8	27,3	25,1
1a	26,8	28,9	25,6	23,6
1b	27,8	30,0	26,5	24,5
1c	27,6	30,0	26,2	23,9
1d	27,8	30,2	26,4	24,2
2	24,7	26,5	23,5	21,6
2a	23,5	25,0	22,2	20,5
2b	24,2	25,9	22,9	21,1
2c	24,1	25,9	22,7	20,7
2d	24,2	26,0	22,8	20,9



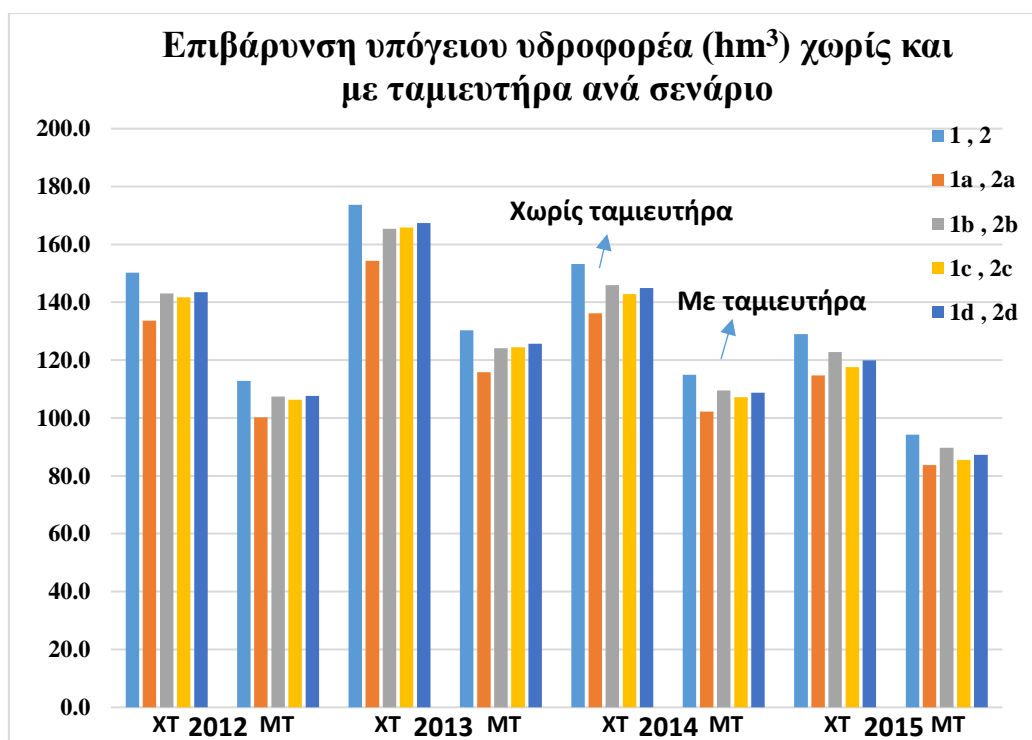
Σχήμα 5. 3 Διάγραμμα συνολικής προσφοράς υπογείων υδάτων (hm^3) ανά σενάριο για τα έτη 2012-2015.

Για τα έτη 2012-2015 υπολογίστηκε η συνολική προσφορά υπογείων (hm^3) ανά σενάριο, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.3. Η συνολική προσφορά αποτελείται από την προσφορά του υπόγειου υδροφορέα, που εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες, βροχόπτωση κτλ., και από την εδαφική αποθήκευση. Κάθε καλλιέργεια έχει τη δική της υδατική απαίτηση (Near Irrigation Requirement), που χρειάζεται για να αναπτυχθεί. Καθώς αρδεύεται, το 10% της υδατικής απαίτησης κάθε καλλιέργειας (Υδρομέντωρ, 2015), εισχωρεί στο έδαφος και αποθηκεύεται, αυξάνοντας έτσι την προσφορά του υπόγειου υδροφορέα.

5.1.4 Επιβάρυνση υπόγειου υδροφορέα με ταμιευτήρα και χωρίς

Πίνακας 5. 4 Επιβάρυνση υπόγειου υδροφορέα με ταμιευτήρα (MT) και χωρίς (XT).

Επιβάρυνση υπόγειου υδροφορέα (hm ³)								
	XT	MT	XT	MT	XT	MT	XT	MT
	2012		2013		2014		2015	
1, 2	150,3	112,8	173,7	130,3	153,2	115,0	129,0	94,2
1a, 2a	133,6	100,2	154,4	115,8	136,2	102,2	114,7	83,7
1b, 2b	143,1	107,4	165,3	124,1	145,9	109,5	122,8	89,7
1c, 2c	141,7	106,4	165,8	124,4	142,8	107,1	117,6	85,5
1d, 2d	143,4	107,6	167,4	125,6	144,9	108,7	119,9	87,3



Σχήμα 5. 4 Υδατικές απαιτήσεις από τα υπόγεια ύδατα με ταμιευτήρα (MT) και χωρίς (XT).

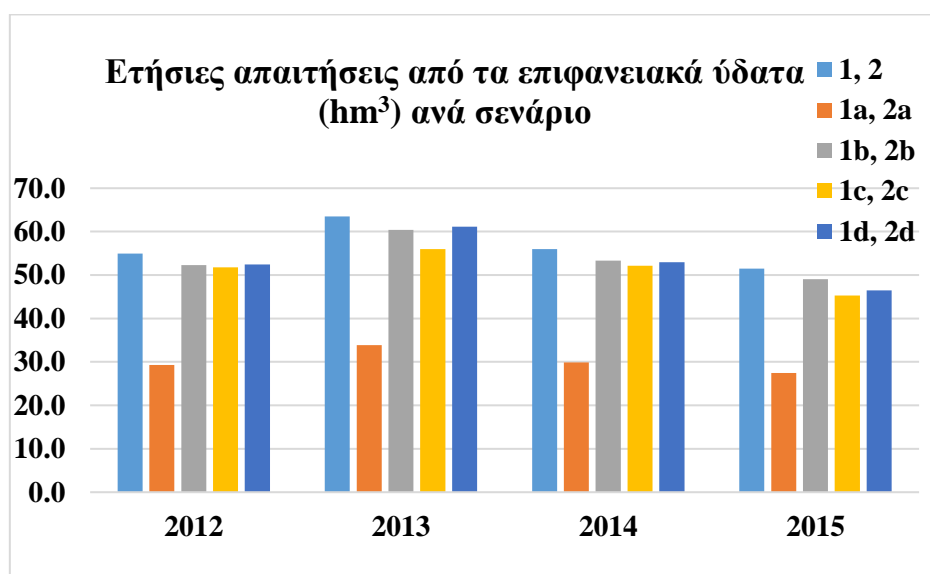
Για πλήρη εποπτεία, διαχωρίστηκαν οι υδατικές απαιτήσεις από τον υπόγειο υδροφορέα χωρίς και με τη λειτουργία ταμιευτήρα. Στο Σχήμα 5.4 απεικονίζονται οι υδατικές απαιτήσεις για κάθε έτος, χωρίς ταμιευτήρα στα αριστερά (σενάρια 1, 1a, 1b, 1c, 1d), και με ταμιευτήρα στα δεξιά (σενάρια 2, 2a, 2b, 2c, 2d).

Παρατηρώντας τον Πίνακα 5.4, η ελάφρυνση του υπόγειου υδροφορέα με τη χρήση ταμιευτήρα είναι εμφανέστατη κατά 40 hm³ κατά μέσο όρο, τονίζοντας έτσι τη συνεισφορά του ταμιευτήρα. Θα έπρεπε να τονιστεί ξανά η σημασία των σεναρίων καθώς είτε χωρίς είτε με ταμιευτήρα, μειώνουν την επιβάρυνσή του για όλα τα έτη αναφοράς. Ο συνδυασμός ύπαρξης ταμιευτήρα και βελτίωσης απόδοσης δικτύου (σενάριο 2a), όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.4 επιβαρύνει λιγότερο τον υπόγειο υδροφορέα.

5.1.5 Ετήσιες απαιτήσεις από τα επιφανειακά ύδατα ανά σενάριο

Πίνακας 5. 5 Ετήσιες απαιτήσεις από τα επιφανειακά ύδατα (Πηνείος) (hm^3) ανά σενάριο.

Ετήσιες απαιτήσεις από τα επιφανειακά ύδατα (Πηνείος) (hm^3)				
	2012	2013	2014	2015
1, 2	54,9	63,5	56,0	51,5
1a, 2a	29,3	33,8	29,9	27,5
1b, 2b	52,3	60,4	53,3	49,0
1c, 2c	51,8	56,0	52,2	45,3
1d, 2d	52,4	61,2	52,9	46,5



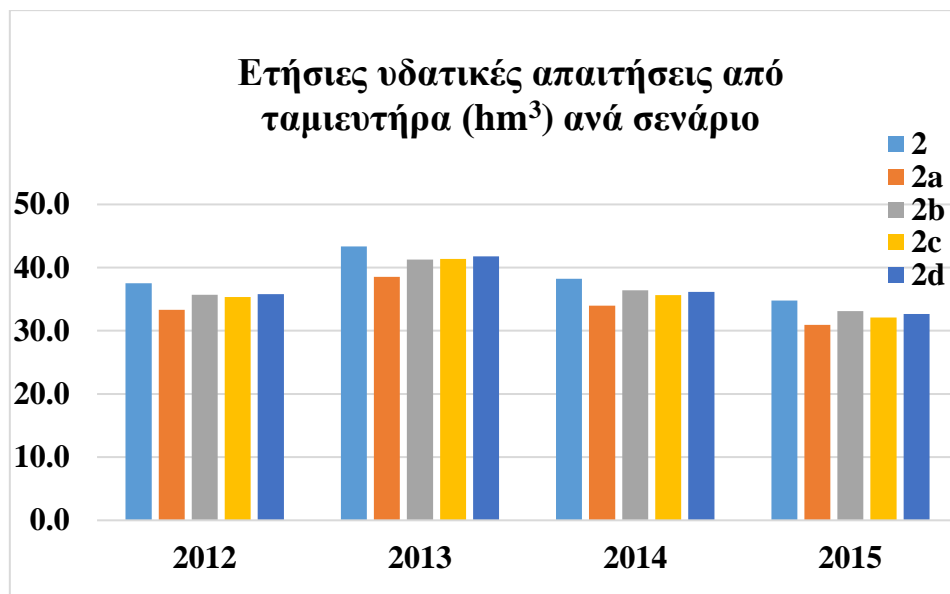
Σχήμα 5. 5 Ετήσιες απαιτήσεις από τα επιφανειακά ύδατα (Πηνείος) (hm^3).

Υπολογίζοντας τις ετήσιες υδατικές απαιτήσεις από τα επιφανειακά Πηνειού, παρατηρείται μείωσή τους με την εφαρμογή σεναρίων. Το σενάριο 2a, λόγω συντελεστών απόδοσης δικτύου που αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 4: Μεθοδολογία (Διαχειριστικά σενάρια), επιτυγχάνει χαμηλότερες υδατικές απαιτήσεις.

5.1.6 Ετήσιες υδατικές απαιτήσεις από ταμιευτήρα ανά σενάριο

Πίνακας 5. 6 Ετήσιες υδατικές απαιτήσεις από ταμιευτήρα (hm^3) ανά σενάριο.

Ετήσιες υδατικές απαιτήσεις από ταμιευτήρα (hm^3)				
	2012	2013	2014	2015
2	37,5	43,3	38,2	34,8
2a	33,3	38,5	34,0	30,9
2b	35,7	41,3	36,4	33,1
2c	35,4	41,4	35,6	32,1
2d	35,8	41,8	36,2	32,6



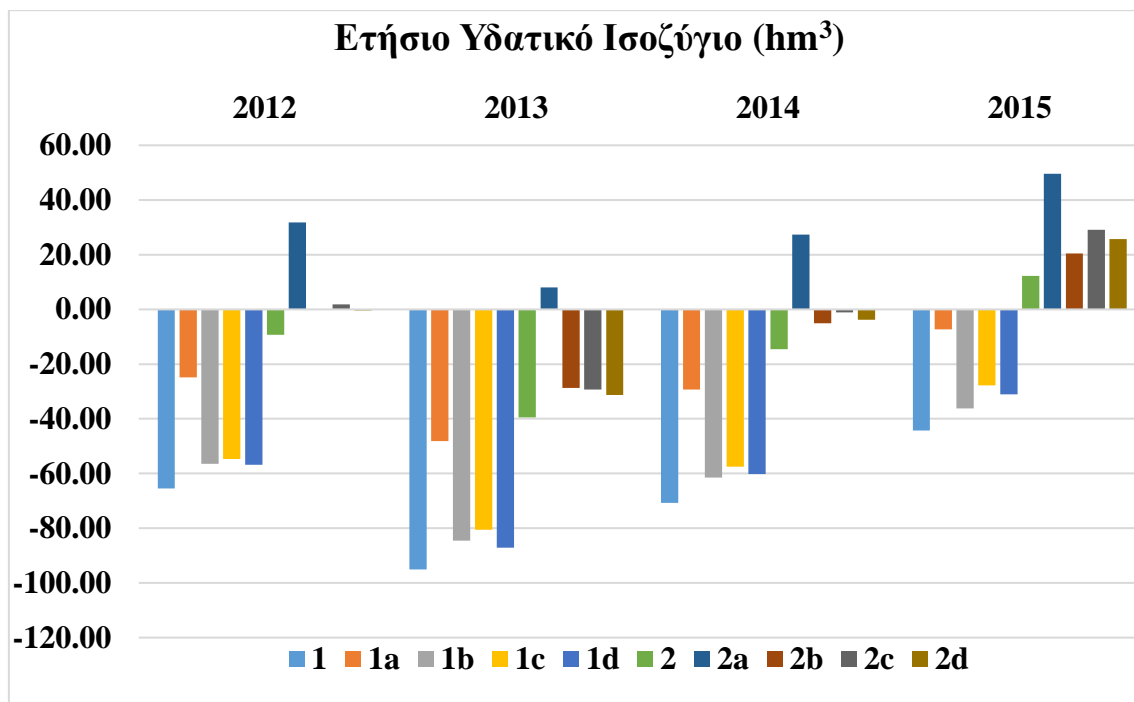
Σχήμα 5. 6 Ετήσιες υδατικές απαιτήσεις από ταμιευτήρα (hm³).

Στον Πίνακα 5.6 εμφανίζονται οι ετήσιες υδατικές απαιτήσεις από τον ταμιευτήρα, οι οποίες θα ελαφρύνουν τον υπόγειο υδροφόρο. Αυτό συμβαίνει διότι εκτάσεις που εξυπηρετούνταν από τον υπόγειο υδροφόρο, θα εξυπηρετούνται πλέον από τον ταμιευτήρα.

5.1.7 Υδατικό Ισοζύγιο

Πίνακας 5. 7 Υδατικό Ισοζύγιο (hm³) ανά έτος και σενάριο.

	Ετήσιο Υδατικό Ισοζύγιο (hm ³)			
	2012	2013	2014	2015
1	-65,50	-95,09	-70,72	-44,24
1a	-24,85	-48,11	-29,27	-7,30
1b	-56,40	-84,57	-61,43	-36,21
1c	-54,67	-80,58	-57,53	-27,74
1d	-56,84	-87,16	-60,17	-31,04
2	-9,25	-39,43	-14,54	12,28
2a	31,82	8,04	27,33	49,60
2b	0,03	-28,70	-5,07	20,48
2c	1,79	-29,32	-1,09	29,05
2d	-0,42	-31,34	-3,78	25,70



Σχήμα 5. 7 Υδατικό Ισοζύγιο (hm³) ανά έτος και σενάριο.

Κάθε σενάριο επιτυγχάνει μικρότερα ελλείμματα από ότι η υφιστάμενη κατάσταση, επιβεβαιώνοντας έτσι τη σημασία της διαχείρισης της ζήτησης, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.7. Με τη λειτουργία του ταμιευτήρα, επιτυγχάνονται και μακροπρόθεσμα οφέλη, καθώς δίνεται η δυνατότητα ανανέωσης των υδάτων του υπόγειου υδροφορέα.

Ενθαρρυντική είναι η σταδιακή βελτίωση του ισοζυγίου από κάθε σενάριο στην περίοδο εφαρμογής των μέτρων.

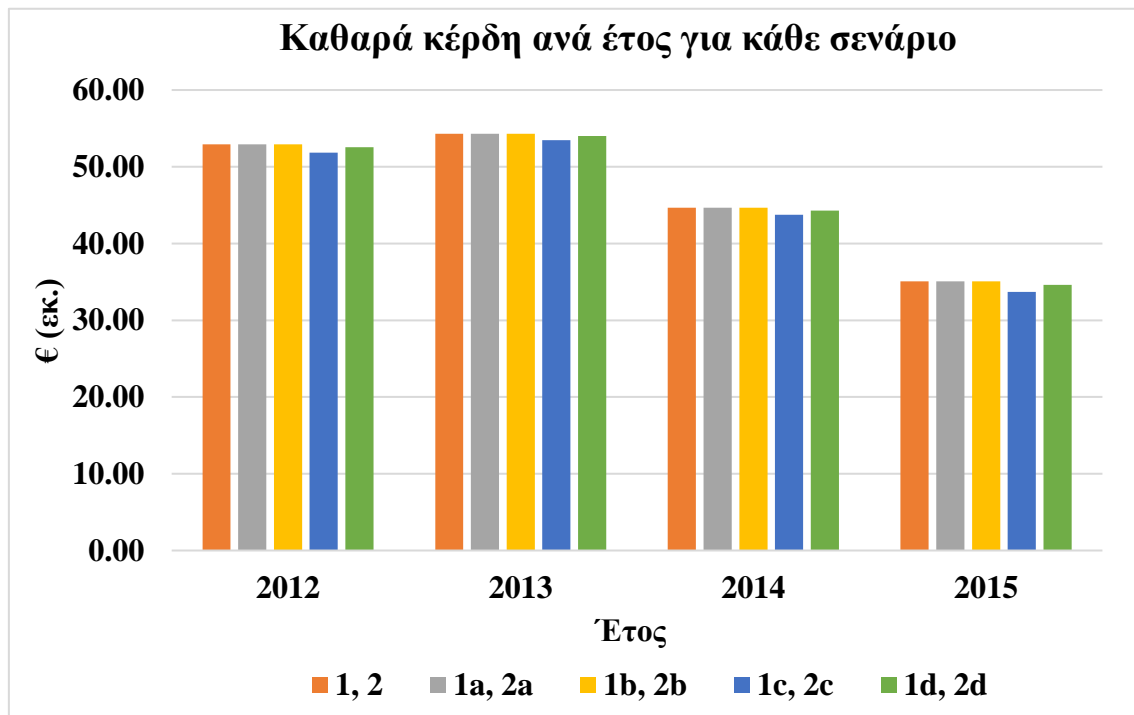
Το «αρνητικότερο» ισοζύγιο στην περίοδο εφαρμογής των σεναρίων οφείλεται στην κατανομή καλλιεργειών που επικρατούσε αυτή την περίοδο, η οποία επιλέχθηκε να είναι η πραγματική (παρατηρημένη). Αποδεικνύεται έτσι η σημασία της βέλτιστης κατανομής καλλιεργειών στη διαχείριση.

5.2 Καθαρά κέρδη από την αγροτική δραστηριότητα

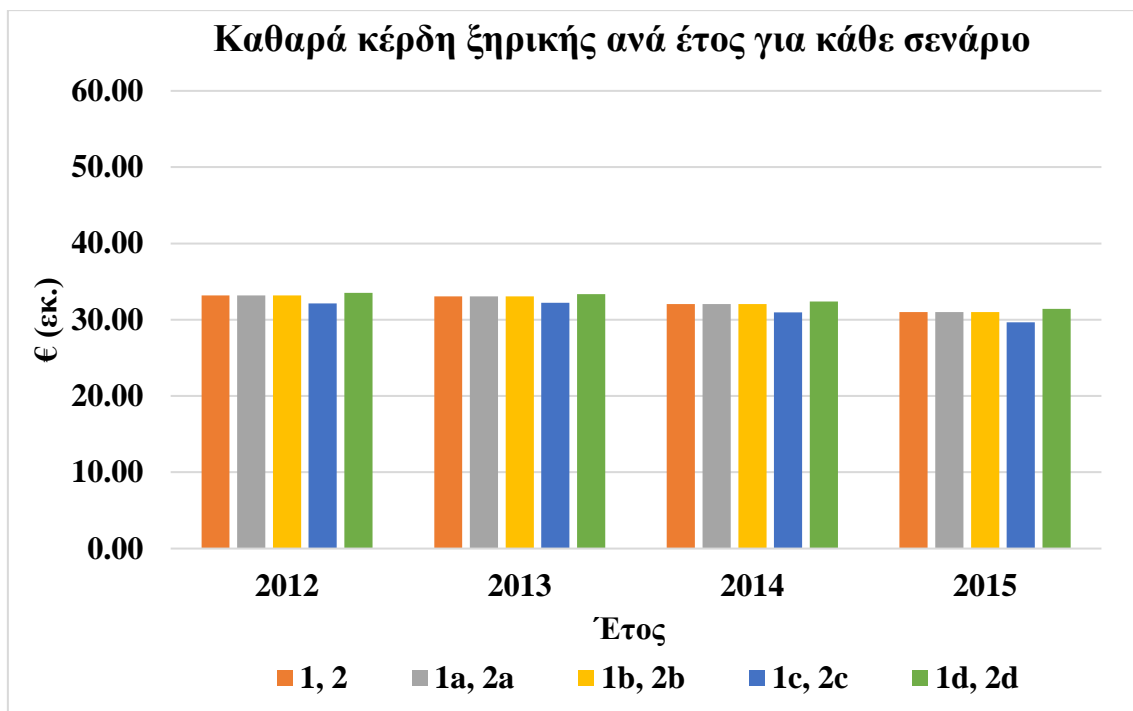
Πίνακας 5. 8 Καθαρά κέρδη από την αγροτική δραστηριότητα € (εκ.).

Καθαρό κέρδος (εκ. €)				
	2012	2013	2014	2015
1	52,92	54,30	44,68	35,07
1a	52,92	54,30	44,68	35,07
1b	52,92	54,30	44,68	35,07
1c	51,85	53,45	43,75	33,69
1d	52,55	54,01	44,30	34,59
2	53,70	55,09	46,31	36,47
2a	53,70	55,09	46,31	36,47
2b	53,70	55,09	46,31	36,47

Καθαρό κέρδος (εκ. €)				
	2012	2013	2014	2015
2c	51,85	53,45	43,98	33,69
2d	52,55	54,01	44,30	34,59



Σχήμα 5. 8 Καθαρά κέρδη από την αγροτική δραστηριότητα για κάθε σενάριο € (εκ.).



Σχήμα 5. 9 Καθαρά κέρδη ξηρικής από την αγροτική δραστηριότητα για κάθε σενάριο € (εκ.).

Παρατηρείται μείωση κέρδους κατά την εφαρμογή των σεναρίων 1c, 2c, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.8, λόγω μερικής αντικατάστασης έκτασης βαμβακιού-κερδοφόρο προϊόν, με σιτηρά σε αντίθεση με το ισοζύγιο (αντίθεση οικονομικού και περιβαλλοντικού παράγοντα). Παρόμοια αποτελέσματα προκύπτουν στα σενάρια 1d, 2d (μερική αντικατάσταση βαμβακιού με σιτηρά και αραβόσιτο), με τιμές κερδών μεγαλύτερες από αυτές των σεναρίων 1c, 2c. Στο Σχήμα 5.9 απεικονίζονται τα κέρδη από τις αντίστοιχες ξηρικές καλλιέργειες (Λατινόπουλος, 2006), σαφώς μικρότερα.

5.3 Κόστη εφαρμογής σεναρίων

Στην περίπτωση των διαχειριστικών σεναρίων που προτείνουν τεχνικά έργα μείωσης απωλειών και εφαρμογής στάγδην άρδευσης, συνυπολογίστηκε το κόστος αυτών των μέτρων, από εκτιμήσεις των δ/ντών των ΤΟΕΒ, από παλαιότερα δεδομένα τους και από σχετικές έρευνες. Χρησιμοποιήθηκαν τα οικονομικά δεδομένα από τους ετήσιους απολογισμούς των ΤΟΕΒ Πηνειού και Κάρλας, όπου είναι και οι δύο διαχειριστικές υπηρεσίες της λεκάνης. Τα δεδομένα αφορούσαν το έτος 2014, καθώς ήταν το μόνο έτος με διαθέσιμα στοιχεία και για τους δύο ΤΟΕΒ. Για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας, υπολογίζεται μόνο το κόστος εφαρμογής, και όχι το συνολικό άμεσο κόστος των ΤΟΕΒ (κόστη κεφαλαίου, συντήρησης, λειτουργίας, επενδύσεων, κλπ.). Πιο αναλυτικά, τα κόστη εφαρμογής των σεναρίων θεωρήθηκαν ως εξής:

- **Σενάριο 1a:** Η αλλαγή κατάστασης που υιοθετείται είναι η μείωση των απωλειών. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τον καθαρισμό και την σωστή συντήρηση των καναλιών του ΤΟΕΒ Πηνειού αλλά και των ιδιωτικών γεωτρήσεων. Όπως προαναφέρθηκε, η ανάπτυξη του σεναρίου αυτού έγινε με την χρήση υψηλότερου συντελεστή αποδοτικότητας μεταφοράς ίσο με 0,75 αντί για 0,4 που χρησιμοποιήθηκε στο βασικό σενάριο για το επιφανειακό δίκτυο και 0,9 αντί για 0,8 για το υπόγειο δίκτυο. Το γεγονός αυτό οδήγησε σε σαφώς μειωμένες υδατικές απαιτήσεις. Για την εξαγωγή του κόστους εφαρμογής αυτών των ενεργειών χρησιμοποιήθηκαν τα ποσά του προϋπολογισμού και των

πραγματοποιθέντων δαπανών για συντήρηση από τους ισολογισμούς του ΤΟΕΒ Πηνειού. Η ανωτέρω μεθοδολογία ακολουθήθηκε λόγω ανεπάρκειας στοιχείων για το μήκος των αρδευτικών καναλιών του ΤΟΕΒ. Αλλά ακόμα και αν χρησιμοποιούνταν ψηφιοποιημένος χάρτης ώστε να υπολογιστεί αυτό το μήκος, τα δεδομένα για το κόστος καθαρισμού των καναλιών δε θα ήταν ακριβή, αφού θα έπρεπε να εκτιμηθούν εξ' αρχής (ανά μέτρο ή ανά ώρα εργασίας). Το μέσο κόστος που θα χρησιμοποιούνταν σε μια τέτοια περίπτωση θα ήταν ανέφικτο να προσδιοριστεί, αφού κάποια σημεία χρειάζονται μεγαλύτερη συντήρηση από κάποια άλλα. Για τον ακριβή υπολογισμό του κόστους καθαρισμού των αρδευτικών καναλιών θα απαιτούνταν η κάλυψη όλου του μήκους τους (μετρήσεις πεδίου) και η εμπειρική εκτίμηση των αμοιβών των εργατών, κάτι που στα πλαίσια της διατριβής κρίνεται ασύμφορο. Ομοίως για τις γεωτρήσεις θα απαιτούνταν γνώση του αριθμού των γεωτρήσεων καθώς και του βάθους και της ισχύος της κάθε μίας. Το πλεονέκτημα της χρήσης των στοιχείων από τους ισολογισμούς του ΤΟΕΒ Πηνειού είναι ότι πρόκειται για επίσημα στοιχεία, τα οποία έχουν προκύψει από τη μελέτη του ΤΟΕΒ για το απαιτούμενο κόστος. Θεωρώντας λοιπόν ότι ο προϋπολογισμός για τη συντήρηση καναλιών και γεωτρήσεων είναι το συνολικό κόστος για την επίτευξη του σκοπού του παρόντος Σεναρίου, η διαφορά του από τις πραγματοποιηθέντες δαπάνες για συντήρηση (που είναι σαφώς μικρότερες), είναι το επιπλέον κόστος για την εφαρμογή του Σεναρίου. Η διαφορά αυτή προκύπτει ίση με 280.356,61 €. Στον ΤΟΕΒ Κάρλας ακόμα δε βρίσκονται σε λειτουργία τέτοια έργα, επομένως δεν επιβαρύνεται με κάποιο κόστος. Τα παραπάνω επιβεβαιώθηκαν και από τα στελέχη των ΤΟΕΒ κατά τη διαδικασία συλλογής δεδομένων.

- **Σενάριο 1b:** Εδώ γίνεται εφαρμογή στάγδην άρδευσης σε όλες τις καλλιέργειες. Το κόστος εγκατάστασης (αλλαγής) σε στάγδην άρδευση, όπως αναλύθηκε παραπάνω, πρέπει να συνυπολογίζεται στο χρηματοοικονομικό κόστος, ως κόστος επένδυσης. Για τον υπολογισμό των απαιτούμενων δαπανών χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες τιμές των υλικών και εργασιών, σε έναν τετραγωνισμένο αρδευόμενο αγροτεμάχιο εκτάσεως ενός στρέμματος, 25x40 μέτρων. Ακανόνιστου σχήματος αγροτεμάχια θα χρειαστούν επιπλέον υλικά, γεγονός που αυξάνει το κόστος. Σε μεγάλη έκταση, μειώνεται το κόστος εργασιών ανά μονάδα μέτρησης και το κόστος των υλικών πέφτει σε χαμηλότερα επίπεδα. Σύμφωνα με τον Καζαντζή (2009), το συνολικό κόστος για κερασεώνες είναι 306,80 €/στρέμμα (206,80 €/στρ τα υλικά και 100 €/στρ οι εργασίες). Το κόστος εγκατάστασης στάγδην άρδευσης για τις δενδρώδεις καλλιέργειες, όπως υπολογίστηκε στο Καλλιεργητικό πλάνο της περιφέρειας Ηπείρου, είναι 220 €/στρέμμα ενώ για γεώτρηση είναι 110 €/μέτρο. Οι εκτιμήσεις αυτού του κόστους για άλλες δενδρώδεις καλλιέργειες (myrtilo.gr) κυμαίνονται μεταξύ 100-200 €/στρέμμα. Στην προκειμένη περίπτωση το κόστος υπολογίστηκε ως άθροισμα των απαιτούμενων εργασιών για άνοιγμα γραμμής με αλυσίδα και σύνδεση αρδευτικών από εξειδικευμένο εργάτη, ενώ συνυπολογίστηκαν και τα απαραίτητα υλικά:

Πίνακας 5. 9 Στοιχεία υπολογισμού κόστους υλικών εγκατάστασης στάγδην άρδευσης, για το τυπικό στρέμμα (προσαρμοσμένα από Καζαντζή, 2009).

Υλικά και εργασία	Μονάδες	Αριθμ.	Κόστος / μονάδα (€)	Συνολικό κόστος (€)
Οριχάλκινη βάνα για το δίκτυο	τεμάχια	1	10	10
Είσοδος γραμμής για τη βάνα	τεμάχια	1	1,6	1,6
Σωλήνας παροχής	μέτρα	25	1,2	30
Σέλες	τεμάχια	5	1,3	6,5
Ορθοστάτες	τεμάχια	5	0,3	1,5
Ταφ	τεμάχια	5	1	5
Βανάκια	τεμάχια	5	2	10
Σταλακτοφόρος σωλήνας	μέτρα	200	0,2	40
Κόλλα	τεμάχια	1	3	3
Τεφλόν	τεμάχια	1	0,3	0,3
Τάπα	τεμάχια	1	1,5	1,5
Εργασίες-Άνοιγμα γραμμής με αλυσίδα	μέτρα	25	0,4	10
Σύνολο				119,4

Η εργασία ανοίγματος γραμμής γίνεται με ειδικό εργαλείο (αλυσίδα), οπότε το κοστολόγιο αυτής καθίσταται αναπόφευκτο. Το κόστος εκτέλεσης αυτής ανά μέτρο, υπολογίζεται με βάση τον τύπο του εδάφους και άρα το βαθμό δυσκολίας εφαρμογής αυτής (Καζαντζής, 2009). Το κόστος των εργατικών ανειδίκευτου εργάτη θεωρήθηκε μηδενικό (εάν ασχοληθεί ο ίδιος ο παραγωγός ή μέλη της οικογένειάς του). Το κόστος σύνδεσης των αρδευτικών συστημάτων γίνεται από εξειδικευμένο εργάτη. Υπάρχει όμως και η περίπτωση ο ίδιος ο παραγωγός να είναι γνώστης του αντικειμένου και να διεκπεραιώσει την εργασία μόνος του, οπότε μπορεί να ελαττωθεί ή να εκμηδενιστεί και αυτό το κόστος. Τα υλικά που αναφέρονται είναι τα απολύτως απαραίτητα για την εγκατάσταση ενός συστήματος στάγδην άρδευσης. Δε χρησιμοποιήθηκαν υλικά που κρίθηκε ότι μπορούν να αποφευχθούν. Όπως ισχύει για όλα τα υλικά, η τιμή διάθεσής τους στο εμπόριο ποικίλει.

Το συνολικό κόστος εγκατάστασης υπολογίστηκε τελικά στα 119,4 €/στρέμμα. Το σύνολο των εκτάσεων που εξυπηρετούνται από υπόγεια ύδατα είναι 429.671 στρέμματα για το Σενάριο 1 (ο ΤΟΕΒ Πηνειού θεωρείται ότι εξυπηρετείται από τα αρδευτικά κανάλια). Σύμφωνα με στοιχεία της Περιφέρειας Θεσσαλίας του 2015 το 75% των εκτάσεων στην περιοχή της πεδιάδας της Κάρλας αρδεύεται με στάγδην άρδευση και το 25% με καταιονισμό. Επομένως η αλλαγή θα πραγματοποιηθεί για το 25% των αρδευόμενων εκτάσεων (107.417,75 στρέμματα). Άρα το κόστος εφαρμογής του Σεναρίου 1b προκύπτει ίσο με 12.825.679,35 € συνολικά.

- **Σενάριο 2:** Η μελλοντική κατάσταση αφορά τη λειτουργία του ταμιευτήρα της Κάρλας. Σύμφωνα με τη μελέτη κόστους – οφέλους της κατασκευής και της λειτουργίας του ταμιευτήρα της Κάρλας, του νέου αρδευτικού δικτύου και των παρεμφερών έργων, τα κόστη συντήρησης για τον ταμιευτήρα, τα αντιπλημμυρικά και τα αρδευτικά έργα προκύπτουν ίσα με 1.425.223 € (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2009). Από την ίδια μελέτη, τα αντίστοιχα κόστη λειτουργίας ανέρχονται στα 410.858 €. Τα ποσά από τη χρηματοοικονομική ανάλυση του έργου έχουν προκύψει με βάση τους δείκτες της Καθαρής Παρούσας Αξίας (Net Present Value, NPV), Εσωτερικού Συντελεστή Απόδοσης (Internal Rate of Return, IRR), και το Λόγο Κόστους-Οφέλους (Cost-Benefit Ratio, CBR). Στην κοινωνικο - οικονομική ανάλυση του έργου έχουν ληφθεί υπόψη χρονικός ορίζοντας ανάλυσης ίσος με 35 χρόνια, ήτοι 15 χρόνια για την κατασκευή και 20 για λειτουργία, και επιτόκιο αναγωγής ίσο με 5%, που αντιστοιχεί στο επίπεδο επιτοκίων για τα μακράς διάρκειας κρατικά ομόλογα. Άρα το συνολικό κόστος συντήρησης και λειτουργίας είναι 1.836.081 € και αν προστεθούν και οι αντίστοιχες δαπάνες για τον ΤΟΕΒ έχουμε συνολικό κόστος συντήρησης και λειτουργίας 2.122.281 €.
- **Σενάριο 2a:** Η αλλαγή κατάστασης που υιοθετείται εδώ είναι η μείωση των απωλειών, με λειτουργία του ταμιευτήρα. Επομένως, το κόστος εφαρμογής του Σεναρίου 2a θα είναι το επιπλέον κόστος που υπολογίστηκε στο Σενάριο 1a, πάνω στο κόστος του Σεναρίου 2 λειτουργίας ταμιευτήρα.
- **Σενάριο 2b:** Αυτή η περίπτωση μελετά την εφαρμογή στάγδην άρδευσης με λειτουργία του ταμιευτήρα Κάρλας. Σύμφωνα με τα ίδια στοιχεία της Περιφέρειας Θεσσαλίας, και λαμβάνοντας υπόψη ότι το σύνολο των εκτάσεων που εξυπηρετούνται από υπόγεια ύδατα είναι 349.709 στρέμματα για το Σενάριο 2, και θεωρείται επίσης αντικατάσταση του 25% αυτών (87.427,25 στρέμματα), το επιπλέον κόστος εφαρμογής του Σεναρίου 2d προκύπτει ίσο με 10.908.030 €.
- **Σενάρια 1c, 1d, 2c και 2d:** Αυτά τα σενάρια αναδιάρθρωσης καλλιεργειών δεν προϋποθέτουν κάποια επένδυση από την εταιρεία παροχής υπηρεσιών ύδατος. Είναι καταστάσεις που εξαρτώνται από τους αγρότες, επομένως δε συνεπάγονται κάποια διαφορά στο χρηματοοικονομικό κόστος που υπολογίστηκε για την κατάσταση 1 και 2, αντίστοιχα.

Τα κόστη που εκτιμήθηκαν για την εφαρμογή των προτεινόμενων διαχειριστικών σεναρίων ανάχθηκαν σε Παρούσα Αξία PV σύμφωνα με τον τύπο:

$$PV = \frac{C}{(1+r)^t} \quad (6.1)$$

Όπου C το εκάστοτε κόστος, r το επιτόκιο αναγωγής που σε τέτοιες περιπτώσεις θεωρείται ίσο με 5% (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2009; Moyer et al., 2011; Ευστρατιάδης κ.ά., 2017) και t ο χρονικός ορίζοντας αναγωγής, όπου στην προκειμένη περίπτωση ήταν τρία χρόνια.

Προφανώς τα αυξημένα κόστη των Σεναρίων 1b και 2b οφείλονται στο υψηλό κόστος εγκατάστασης της στάγδην άρδευσης. Αυτό το κόστος δεν είναι απαγορευτικό για την εφαρμογή του μέτρου, επειδή δεν πρόκειται να καλυφθεί εξ' ολοκλήρου από τους ΤΟΕΒ, καθώς κατά καιρούς έχουν υπάρξει κρατικές ενισχύσεις για την εγκατάσταση της στάγδην άρδευσης.

Πίνακας 5. 10 Κόστη εφαρμογής σεναρίων (Ισολογισμοί ΤΟΕΒ: τιμές 2018).

Σενάρια	Υπολογισμός κόστους	Κόστος εφαρμογής (€)
1a	Εκτίμηση επιπλέον κόστους συντήρησης και καθαρισμού αρδευτικών καναλιών	242.182
1b	Εκτίμηση κόστους εγκατάστασης (αλλαγής) σε στάγδην άρδευση, με βάση τις μέσες τιμές κόστους των απαραίτητων υλικών και εργασιών	11.079.304
1c, 1d	Δεν απαιτείται κάποια επένδυση εφαρμογής (εξαρτώνται από τους γεωργούς)	-
2	Αποπληθωρισμένα κόστη συντήρησης, λειτουργίας ταμιευτήρα, αρδευτικών και αντιπλημμυρικών έργων από μελέτη κόστους οφέλους επανασύστασης λίμνης Κάρλας	2.122.281
2a	Ομοίως με Σεν.1a, μαζί με το κόστος του Σεναρίου 2	2.364.463
2b	Ομοίως με Σεν.1b, μαζί με το κόστος του Σεναρίου 2	11.139.720
2c, 2d	Δεν απαιτείται κάποια επένδυση εφαρμογής (εξαρτώνται από τους γεωργούς)	2.122.281

Τα κόστη εφαρμογής σεναρίων διαφέρουν ανά σενάριο και δίνονται από εκτιμήσεις και ισολογισμούς των Τοπικών Οργανισμών Εγγείων Βελτιώσεων (ΤΟΕΒ). Ο Πίνακας 5.9 βασίστηκε σε ισολογισμούς των ΤΟΕΒ σε τιμές 2018, με βάση τις διεργασίες που απαιτούνται για κάθε σενάριο.

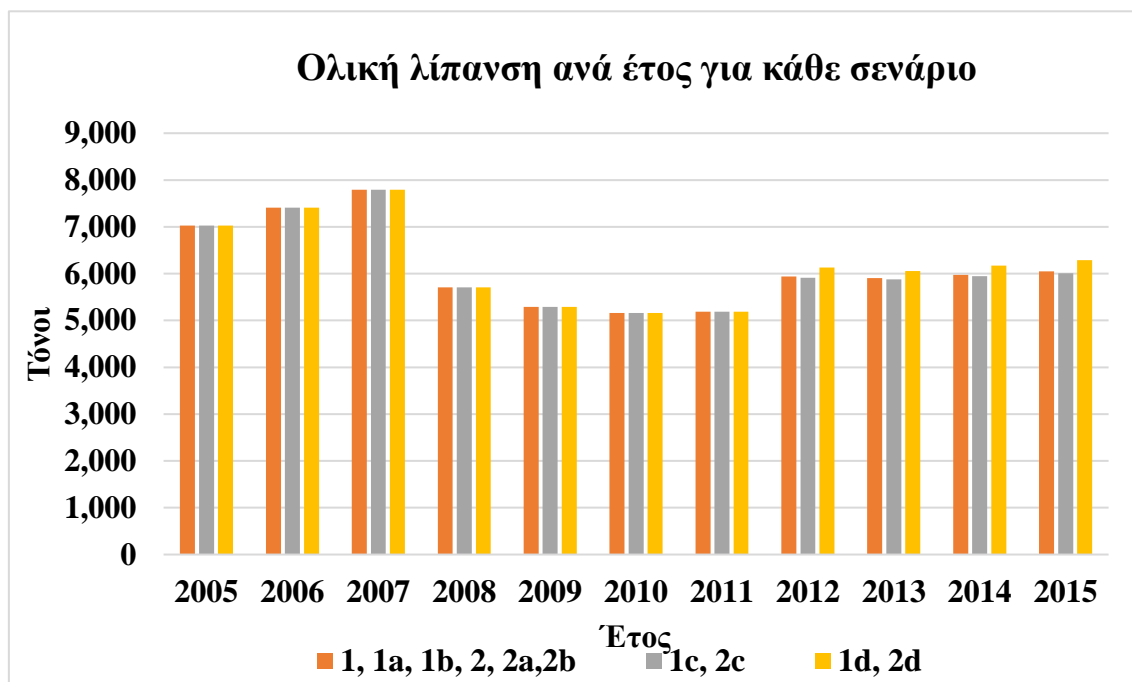
5.4 Ποιοτική κατάσταση υδάτων

5.4.1 Λίπανση

Πίνακας 5. 1 Λίπανση ανά σενάριο (kg).

Λίπανση (kg) Έτη	Σενάρια		
	1,1a,1b,2,2a,2b	1c,2c	1d,2d
2005	7.027.780	7.027.780	7.027.780
2006	7.409.217	7.409.217	7.409.217
2007	7.790.655	7.790.655	7.790.655
2008	5.705.050	5.705.050	5.705.050
2009	5.287.541	5.287.541	5.287.541

Λίπανση (kg)	Σενάρια		
	1,1a,1b,2,2a,2b	1c,2c	1d,2d
Έτη			
2010	5.161.095	5.161.095	5.161.095
2011	5.183.703	5.183.703	5.183.703
2012	5.939.535	5.910.876	6.128.687
2013	5.902.919	5.880.214	6.052.772
2014	5.974.145	5.944.380	6.170.592
2015	6.045.371	6.008.546	6.288.411



Σχήμα 5. 1 Ολική λίπανση ανά έτος για κάθε σενάριο (tn).

Η λίπανση ως δείκτης ποιότητας υπόγειων υδάτων, υπολογίστηκε για όλα τα χρόνια της χρονοσειράς με βάση τον Πίνακα 4.5 που έδινε τα λιπάσματα που απαιτούνται ανά καλλιέργεια. Παρατηρείται σταθερά υψηλή και έντονη επιβάρυνση του συστήματος όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.10. Γεγονός που αποδεικνύει την εμφάνιση του φαινομένου υπερλίπανσης, που ανακυκλώνεται μέσω των αντλήσεων, όπως έδειξαν και τα στοιχεία από τις δειγματοληψίες (Πίνακες 4.6 – 4.11).

5.4.2 Ποιοτική αναβάθμιση μέσω αραίωσης

Πίνακας 5. 2 Μεταβολή ελλειμμάτων ισοζυγίων έτους 2015 (hm^3).

Μεταβολή ελλειμμάτων ισοζυγίων έτους 2015 (hm^3)			
	Υπόγεια	Επιφανειακά	Κάρλα (Σύγκριση 2-2a-2c-2d)
1-1a.	-12,9	-24,0	
1-1b.	-5,6	-2,5	
1-1c	-10,3	-6,2	
1-1d	-8,2	-5,0	
1-2.	-31,3		
1-2a.	-40,7	-24,0	-3,9
1-2b.	-35,4	-2,5	-1,7
1-2c	-39,1	-6,2	-2,7
1-2d.	-37,6	-5,0	-2,2



Σχήμα 5. 2 Μεταβολή ελλειμμάτων ισοζυγίων έτους 2015 (hm^3).

Με την εύρεση του υδατικού ισοζυγίου για κάθε σενάριο για το έτος 2015, όπου σε όλα τα έτη το ισοζύγιο χαρακτηρίστηκε ελλειμματικό, βρέθηκαν οι μεταβολές στα ελλείμματα σε σχέση με την υφιστάμενη. Ο στόχος είναι η μεγαλύτερη μεταβολή υδατικού ισοζυγίου, δηλαδή το μικρότερο έλλειμμα σε σχέση με την υφιστάμενη, κάτι το οποίο επιτυγχάνει το σενάριο 2a.

Πίνακας 5. 3 Ρύποι εκτός ορίων από δειγματοληψία έτους 2015.

	Υπόγεια ύδατα	Επιφανειακά Πηνιού	Ταμιευτήρας Κάρλας
Ρύποι εκτός ορίων	15/41	13/36	7/20

Πίνακας 6.4 Ποσοστά μείωσης συγκεντρώσεων (%) χημικών παραμέτρων (Χ.Π.) και γεωργικών φαρμάκων (Γ.Φ.) μέσω της αραίωσης.

Σενάρια	Χ.Π.	Γ.Φ.	Χ.Π.	Γ.Φ.	Χ.Π.	Γ.Φ.
1-1a	11	11	73	18	-	-
1-1b	5	5	18	2,3	-	-
1-1c	9	9	36	5,3	-	-
1-1d	7	7	31	4,3	-	-
1-2	23	24	0	0	-	-
1-2a	29	29	68	18	39	0
1-2b	26	26	18	2,3	22	0
1-2c	28	28	36	5,3	31	0
1-2d	27	27	31	4,3	27	0

Μέσω της δειγματοληψίας 2015 (Πίνακες 4.6-4.11), ορίστηκαν πόσοι ρύποι βρέθηκαν εκτός ορίων σε υπόγεια ύδατα, επιφανειακά, και ταμιευτήρα Κάρλας, όπως παρατίθενται στον Πίνακα 5.12. Με την αραίωση, λόγω της ποσοτικής αναπλήρωσης, τιμές χημικών παραμέτρων και συγκεντρώσεις γεωργικών φαρμάκων μειώθηκαν ποσοστιαία όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.13. Σε ορισμένες περιπτώσεις τα ποσοστά είναι μεγαλύτερα, ενώ σε άλλες μικρότερα, χωρίς να σημαίνει ότι είναι ασήμαντα. Είναι εμφανές ότι η παρουσία ταμιευτήρα στα σενάρια 2, 2a, 2b, 2c, 2d, συμβάλει στη μείωση χημικών παραμέτρων και γεωργικών φαρμάκων, αφού η διαφορά σε σχέση με τα σενάρια 1, 1a, 1b, 1c, 1d είναι έντονη.

5.5 Αξία αρδευτικού νερού

Πίνακας 5.5 Ακαθάριστη πρόσδοος (BPA) και κόστος παραγωγής (CPA), έπειτα από σύγκριση αρδευόμενων και αντίστοιχων ξηρικών καλλιεργειών στις δύο ζώνες.

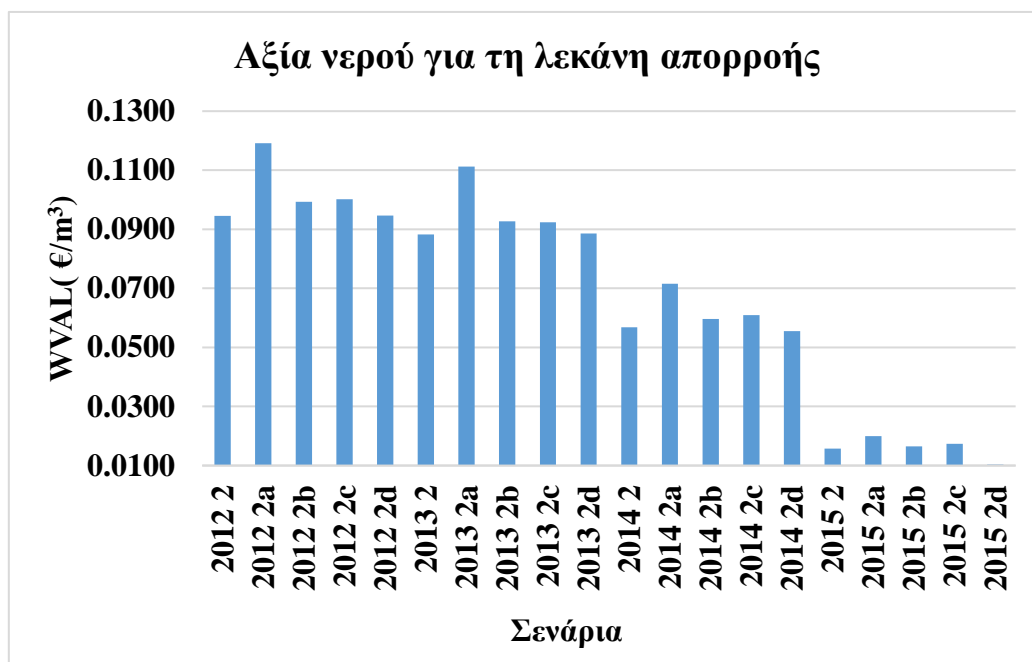
2 Ζώνες		Υπόγεια		Επιφανειακά	
Έτη	Σενάρια	BPA	CPA	BPA	CPA
2012	1,1a, 1b	67,30	41,67	12,30	7,61
	1c	65,43	39,61	11,96	7,24
	1d	66,77	40,44	12,20	7,39
2013	1,1a,1b	68,96	41,15	12,60	7,52
	1c	67,48	39,52	12,33	7,22
	1d	68,55	40,17	12,53	7,34
2014	1,1a,1b	56,86	37,85	10,39	6,92
	1c	54,92	35,71	10,04	6,52
	1d	56,32	36,57	10,29	6,68
2015	1,1a,1b	45,08	34,26	7,86	6,60
	1c	42,85	31,80	7,25	5,93
	1d	44,46	32,79	7,69	6,20
Σύνολο εκ. (€)		704,97	451,53	127,43	83,17

Πίνακας 5.6 Ακαθάριστη πρόσδοος (BPA) και κόστος παραγωγής (CPA), έπειτα από σύγκριση αρδευόμενων και αντίστοιχων ξηρικών καλλιεργειών στις τρεις ζώνες.

3 Ζώνες		Υπόγεια		Επιφανειακά		Κάρλα	
Έτη	Σενάρια	BPA	CPA	BPA	CPA	BPA	CPA
2012	2,2a, 2b	50,50	31,27	12,30	7,61	16,79	10,40
	2c	49,10	29,73	11,96	7,24	16,33	9,89
	2d	50,11	30,35	12,20	7,39	16,66	10,09
2013	2,2a, 2b	51,75	30,88	12,60	7,52	17,21	10,27
	2c	50,64	29,65	12,33	7,22	16,84	9,86
	2d	51,44	30,15	12,53	7,34	17,11	10,03
2014	2,2a, 2b	42,67	28,40	10,39	6,92	14,19	9,44
	2c	41,21	26,80	10,04	6,52	13,71	8,91
	2d	42,26	27,44	10,29	6,68	14,05	9,13
2015	2,2a, 2b	33,21	25,79	7,86	6,60	11,88	8,47
	2c	31,50	23,92	7,25	5,93	11,34	7,88
	2d	32,73	24,67	7,69	6,20	11,73	8,12
Σύνολο εκ. (€)		527,13	339,05	127,43	83,17	177,84	112,48

Πίνακας 5. 7 Αξία αρδευτικού νερού ανά σενάριο στη λεκάνη (€/m³)

	WVAL (€/m ³)			
	2012	2013	2014	2015
1, 2	0,0946	0,0883	0,0568	0,0157
1a, 2a	0,1192	0,1112	0,0716	0,0200
1b, 2b	0,0993	0,0927	0,0597	0,0165
1c, 2c	0,1002	0,0924	0,0609	0,0173
1d, 2d	0,0947	0,0886	0,0555	0,0103



Σχήμα 5. 3 Αξία αρδευτικού νερού ανά σενάριο στη λεκάνη (€/m³)

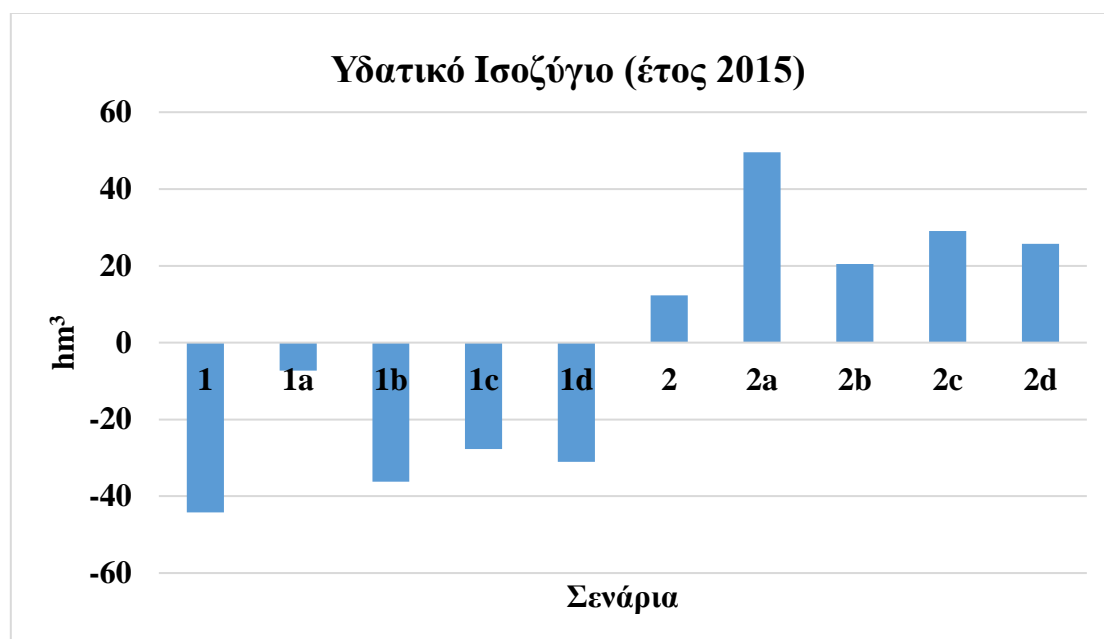
Παρατηρείται πτώση αξίας νερού ανά τα χρόνια που οφείλεται στην έντονη μείωση αρδευόμενων καλλιεργειών λόγω της κατανομής τους που προτιμήθηκε τα περασμένα έτη και λόγω της γενικότερης μείωσης κερδών των χρηστών. Πρέπει να τονιστεί ότι για κάθε σενάριο η αξία νερού προκύπτει μεγαλύτερη της υφιστάμενης, που αποδεικνύει την σημασία αυτών. Μέσω του Πίνακα 5.16, φαίνεται ότι για κάθε έτος τη μεγαλύτερη αξία νερού ως ενδιάμεσο αγαθό εμφανίζει το σενάριο 2a.

5.6 Έτος – Στόχος 2015

Η παρούσα εργασία θέτει ως έτος – στόχο το 2015 διότι:

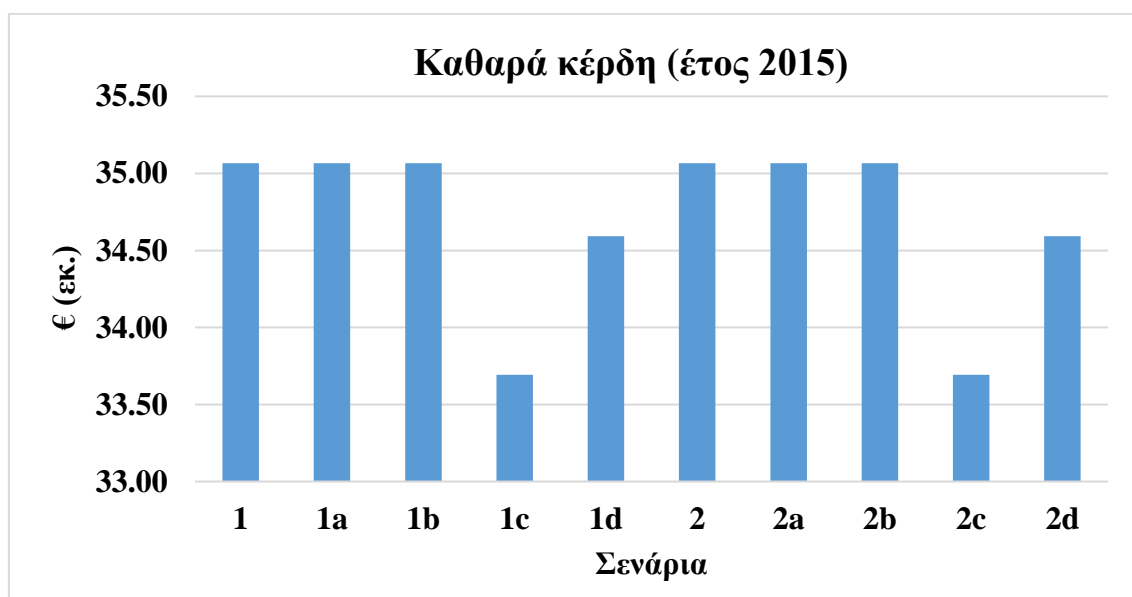
- αποτελεί το τελευταίο άρα και πιο πρόσφατο έτος της χρονοσειράς
- είναι το τελευταίο έτος εφαρμογής σεναρίων
- είχε προταθεί η χρήση ταμιευτήρα το 2012 άρα το 2015 είναι τρία χρόνια μετά την προτεινόμενη λειτουργία του
- υπήρχαν αποτελέσματα δειγματοληψίας για περαιτέρω μελέτη ποιότητας

5.6.1 Υδατικό Ισοζύγιο



Σχήμα 5. 4 Υδατικό Ισοζύγιο έτους – στόχου 2015 (hm³).

5.6.2 Κέρδη



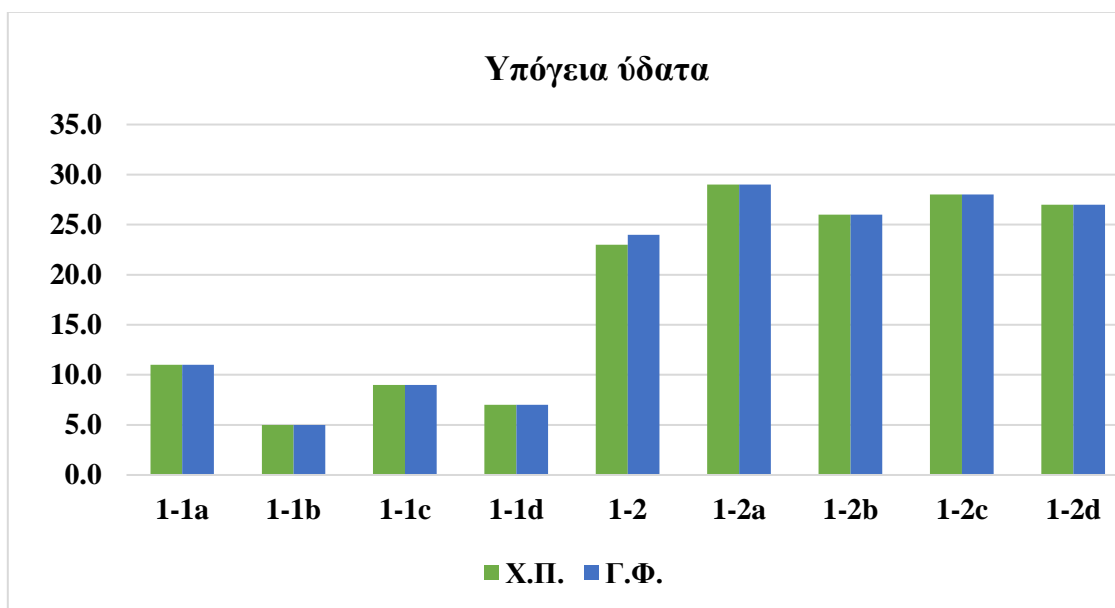
Σχήμα 5. 5 Καθαρά κέρδη από την αγροτική δραστηριότητα έτους – στόχου 2015 € (εκ.).

5.6.3 Κόστη

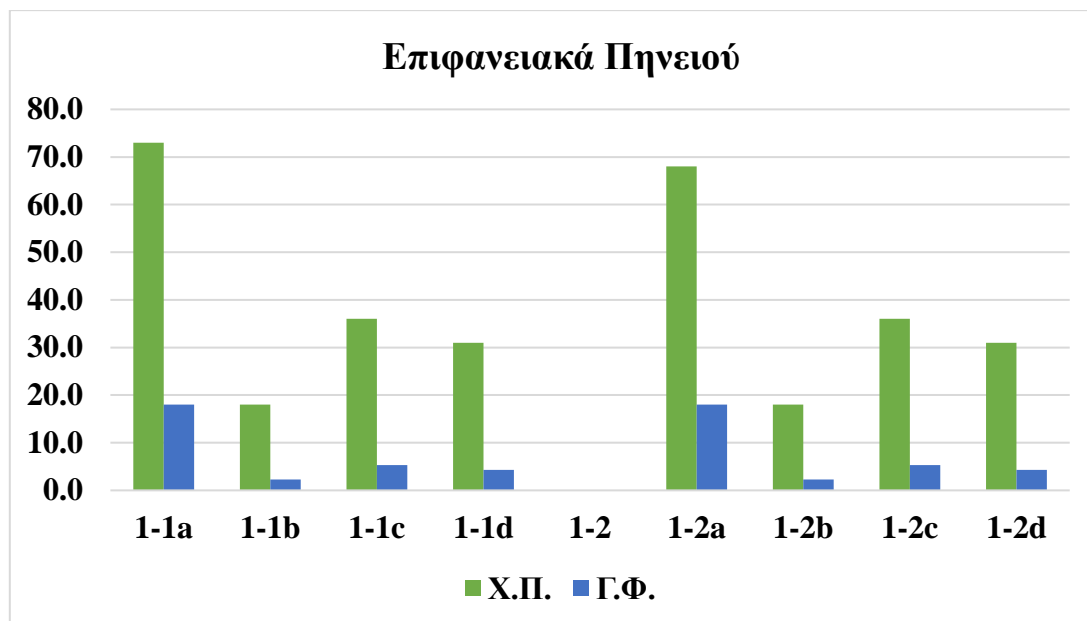


Σχήμα 5. 6 Κόστη εφαρμογής σεναρίου έτους – στόχου 2015 € (εκ.).

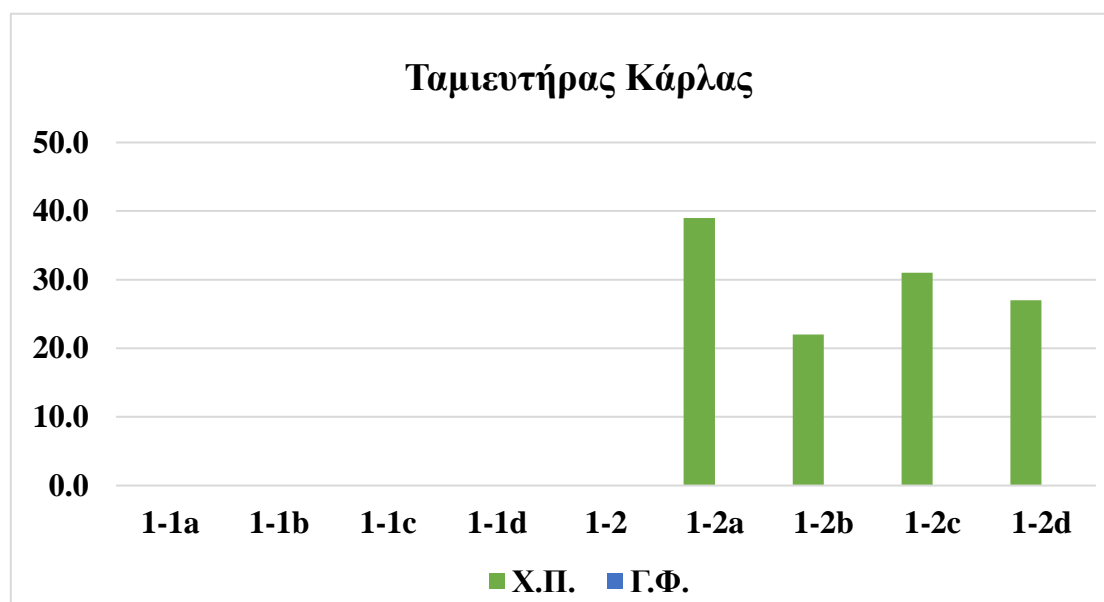
5.6.4 Ποιοτική κατάσταση



Σχήμα 5. 7 Ποσοστά μείωσης συγκεντρώσεων (%) χημικών παραμέτρων (Χ.Π.) και γεωργικών φαρμάκων (Γ.Φ.) στα υπόγεια ύδατα.

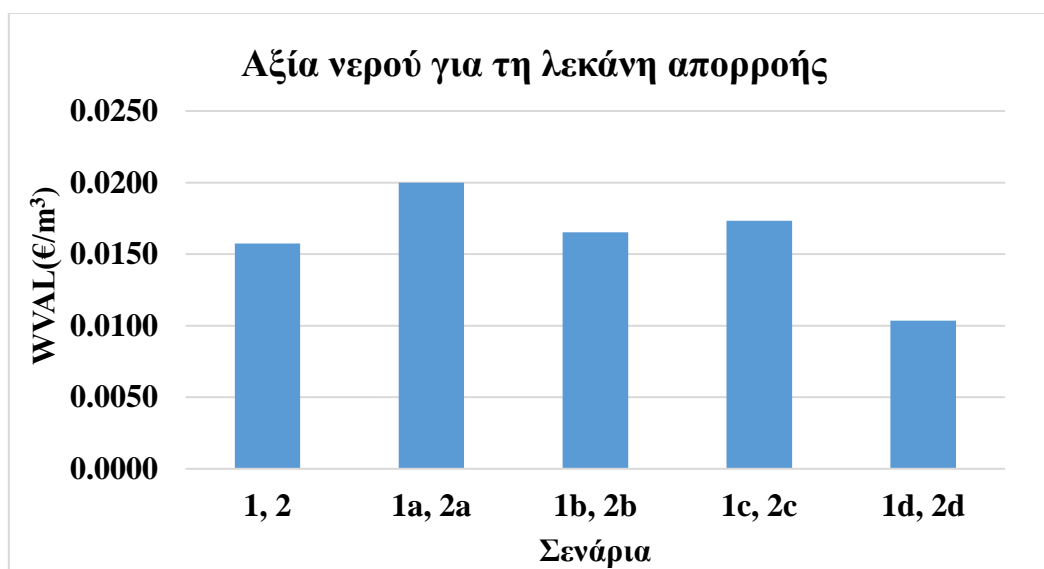


Σχήμα 5. 8 Ποσοστά μείωσης συγκεντρώσεων (%) χημικών παραμέτρων (X.Π.) και γεωργικών φαρμάκων (Γ.Φ.) στα υπόγεια ύδατα.



Σχήμα 5. 9 Ποσοστά μείωσης συγκεντρώσεων (%) χημικών παραμέτρων (X.Π.) και γεωργικών φαρμάκων (Γ.Φ.) στα υπόγεια ύδατα.

5.6.5 Αξία νερού



Σχήμα 5. 10 Αξία αρδευτικού νερού WVAL για το έτος – στόχο 2015 (€/m³).

5.6.6 Σχολιασμός – Πρόταση για το έτος 2015

Με βάση τα παραπάνω διαγράμματα το σενάριο λειτουργίας ταμιευτήρα και βελτίωσης απόδοσης δικτύου – 2a συνδυάζει:

- μεγαλύτερο απόθεμα νερού σε επίπεδο λεκάνης
- υψηλά κέρδη
- σχετικά χαμηλό κόστος εφαρμογής σεναρίου
- μεγαλύτερη αξία νερού
- αξιόλογα ποσοστά μείωσης τιμών χημικών παραμέτρων και συγκεντρώσεων γεωργικών φαρμάκων

Ενδεικτικά προτείνεται λοιπόν το υποσενάριο a, βελτίωσης απόδοσης δικτύου, καθώς έχει χαμηλό κόστος εφαρμογής, αποτελεί ένα εύκολα υλοποιήσιμο σενάριο από τους κρατικούς μηχανισμούς και συνδυάζει καλά αποτελέσματα σε πολλούς στόχους.

Ως πρώτη εναλλακτική θεωρείται η λειτουργία ταμιευτήρα σε συνδυασμό με τη μείωση απωλειών (Σενάριο 2a) και αυτό γιατί:

- χαρακτηρίζεται ως μια βιώσιμη εναλλακτική
- συνδυάζει ‘ελάφρυνση’ υπόγειου υδροφορέα με αποδοτικότερη χρήση επιφανειακών υδάτων
- αποφέρει μεγαλύτερο απόθεμα νερού
- επιφέρει ποιοτική βελτίωση

Ως δεύτερη εναλλακτική επί της υφιστάμενης κατάστασης θεωρείται η μείωση απωλειών (Σενάριο 1a) και αυτό γιατί:

- εμφανίζει σημαντικά μικρότερο έλλειμμα σε σχέση με την υφιστάμενη
- μπορεί να πραγματοποιηθεί με άμεση επέμβαση στο υπάρχον δίκτυο δίχως περαιτέρω διεργασίες

Θα πρέπει να τονιστεί πως συχνά οι στόχοι συγκρούονται, καθιστώντας την επιλογή ενός βέλτιστου σεναρίου δύσκολη υπόθεση.

6 ΣΤΑΣΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΩΝ

6.1 Δείγμα από παλαιότερη έρευνα

Η επιλογή του κατάλληλου διαχειριστικού σεναρίου είναι αρκετά περίπλοκη, καθώς πρέπει να ληφθούν υπόψιν αρκετοί παράμετροι. Με βάση παλαιότερες έρευνες που έχουν διεξαχθεί αντλούνται πληροφορίες σχετικά με τη στάση και τη νοοτροπία των αγροτών, στην υφιστάμενη περιοχή μελέτης. Το δείγμα αποτελείται από 150 άτομα, με 97% άντρες και 3% γυναίκες. Στο ηλικιακό φάσμα, το μεγαλύτερο ποσοστό συναντάται σε ηλικίες 36-45 με ποσοστό 26%. Κυρίαρχο επίπεδο εκπαίδευσης είναι η δευτεροβάθμια σε ποσοστό 54% και το εισόδημα να κυμαίνεται στα όρια 10000-15000€ σε ποσοστό 30% (Μπουζούκης, 2016).

Στην έρευνα του Μπουζούκη (2016), οι αγρότες δηλώνουν πως για τη λειψυδρία ευθύνονται η αποξήρανση της λίμνης Κάρλας (59,1%), η ανεξέλεγκτη άντληση (31,8%) και η έλλειψη σωστής διαχείρισης (9,1%) (Μπουζούκης, 2016).

Οι αγρότες κλήθηκαν να απαντήσουν ποιο κριτήριο θεωρούν το πιο σημαντικό για πιθανή επερχόμενη επένδυση ως λύση στην αντιμετώπιση της λειψυδρίας. Αυτά τα ποσοστά δείχνουν ότι η πλειοψηφία των αγροτών δεν κατανοούν πλήρως τη σημασία της διατήρησης του νερού.

Σε αντίθεση έρχεται το γεγονός ότι η πλειοψηφία των αγροτών, δεν σκοπεύει στη μείωση χρήσης νερού αλλά στην αύξηση παραγωγής. Στην πραγματικότητα, μόνο το 5% του δείγματος θέτει ως προτεραιότητα τη μείωση της χρήσης του νερού, ενώ ένα μεγάλο ποσοστό προτιμά τις επιδοτήσεις. Με λίγα λόγια, η αποδοχή του προβλήματος απέχει πολύ από την αντιμετώπισή του, καθώς τα κέρδη έχουν την μεγαλύτερη βαρύτητα, για τους αγρότες, στη λήψη αποφάσεων. Το ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζει λεπτομερώς τους πιο σημαντικούς παράγοντες για τους αγρότες, όταν τους ζητήθηκε να θέσουν προτεραιότητες για μια επερχόμενη επένδυση.

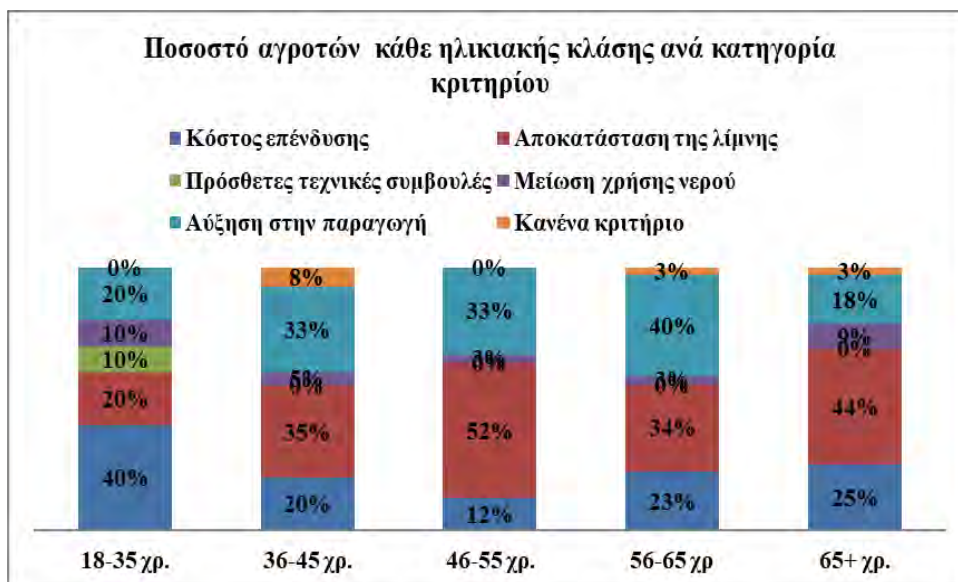


Σχήμα 6. 1 Ποσοστά με βάση τις προτεραιότητες για επερχόμενη επένδυση (Μπουζούκης, 2016).

Το μεγάλο ποσοστό των αγροτών που θεωρούν σημαντικές τη λειτουργία του νέου ταμιευτήρα της Κάρλας, είναι ένα ενθαρρυντικό στοιχείο.

Αν καταταχθούν τα παραπάνω αποτελέσματα με το εκπαιδευτικό υπόβαθρο των ερωτηθέντων, θα διαπιστωθεί ότι το 60% των αγροτών που δεν έχουν επιλέξει κανένα από τα παραπάνω κριτήρια έχουν ολοκληρώσει τη δευτεροβάθμια εκπαίδευση και το άλλο 40% κατανέμεται εξίσου στα άλλα δύο εκπαιδευτικά επίπεδα. Οι γεωργοί που επέλεξαν να αυξήσουν την παραγωγή, να μειώσουν τη χρήση νερού και τη λειτουργία ταμειευτήρα είναι κυρίως απόφοιτοι δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, ενώ οι περισσότεροι από αυτούς που προτιμούν επιδοτήσεις έχουν ολοκληρώσει την πρωτοβάθμια εκπαίδευση.

Ακόμη, για κάθε ηλικιακό φάσμα, καθοριστικό ρόλο κατέχει η αποκατάσταση της λίμνης, έπειτα η αύξηση της παραγωγής και ακολουθεί το κόστος επένδυσης σε νέα μέθοδο άρδευσης. Πιο αναλυτικά, στις μικρότερες ηλικίες το κόστος επένδυσης κατέχει το υψηλότερο ποσοστό και αξίζει να σημειωθεί πως μόνο ένας θεώρησε σημαντικές τις πρόσθετες τεχνικές συμβουλές. Οι αγρότες μεγαλύτερης ηλικίας έχοντας μια εικόνα της λίμνης πριν την αποξήρανση, γνωρίζοντας δηλαδή τα θετικά που προσέφερε κοινωνικο-οικονομικά, θέτουν ως κυρίαρχο κριτήριο την αποκατάστασή της.



Σχήμα 6. 2 Ποσοστό αγροτών κάθε ηλικιακής κλάσης ανά κατηγορία κριτηρίου (Μπουζούκης, 2016).

Ο δείκτης ΠΠ που φαίνεται παρακάτω δηλώνει την προθυμία πληρωμής στα παραπάνω ενδεχόμενα επένδυσης. Στον πίνακα φαίνεται ανάλογα με ποιο κριτήριο οι αγρότες είναι πρόθυμοι να πληρώσουν για μία επένδυση και τον μέσο όρο προθυμίας πληρωμής ανά στρέμμα. Ως κριτήριο με τη μεγαλύτερη βαρύτητα προκύπτει η αποκατάσταση της λίμνης. Έπειτα η αύξηση στη παραγωγή και τρίτο το κόστος επένδυσης, με ποσό επένδυσης 122 έως 140 ευρώ ανά στρέμμα. Επιπλέον το μεγαλύτερο ποσοστό του δείγματος είναι πρόθυμο να διαθέσει ποσά που ανήκουν στις κλάσεις των 51-100 € και 151-200 €. Με βάση τα εισοδήματα, πάνω από τους μισούς αγρότες ανήκουν στην οικονομική τάξη των 0-15000€, πρόθυμοι να διαθέσουν 125,36 €/στρ, ποσό κοντά στα 153,13 €/στρ των αγροτών με εισόδημα >45000€, γεγονός που υποδεικνύει τη διάθεση των αγροτών για εξέλιξη.

Πίνακας 6. 1 Ποσοστά που αναλογούν σε κάθε κριτήριο, σε αντιστοιχία με την Προθυμία Πληρωμής (Μπουζούκης 2016).

ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΕΠΙΛΟΓΗΣ	%	Μ.Ο. ΠΠ/στρ (€)
Αύξηση στην παραγωγή	35,71	140,56
Μείωση χρήσης νερού	6,35	135,94
Πρόσθετες τεχνικές συμβουλές	0,79	112,50
Αποκατάσταση της λίμνης	45,24	122,59
Κόστος επένδυσης	11,90	67,50



Σχήμα 6. 3 Ποσοστό προθυμίας πληρωμής αγροτών, ανά στρέμμα (Μπουζούκης, 2016).

Πίνακας 6. 2 Ποσοστά που αναλογούν σε κάθε εισοδηματική κλάση, σε αντιστοιχία με την Προθυμία Πληρωμής (Μπουζούκης 2016).

ΕΙΣΟΔΗΜΑΤΙΚΗ ΚΛΑΣΗ	%	Μ.Ο. ΠΠ/στρ (€)
0-15000€	55,56	125,36
15000-30000€	32,54	114,94
30000-45000€	5,56	116,07
>45000€	6,35	153,13

Παρά τη διάθεση των αγροτών, οι επιδοτήσεις, παίζοντας κυρίαρχο ρόλο στις αποφάσεις του αγροτικού δυναμικού, δεν στήριξαν μεγάλο ποσοστό εφαρμογής της μεθόδου άρδευσης, με αποτέλεσμα ο αγρότης να φέρει το 100% του κόστους επένδυσης. Φυσικά υπάρχουν επιδοτήσεις για διάφορους σκοπούς, αλλά θα έπρεπε να τονιστεί πως μόνο το 25% των εγκαταστάσεων στάγδην πραγματοποιήθηκε χάριν επιδοτήσεων, σε αντίθεση με τη λογική ότι οι επιδοτήσεις θα έπρεπε να στηρίζουν ακριβές διαδικασίες, καινοτόμες και περιβαλλοντικά αποδοτικές λύσεις, όπως είναι η μέθοδος στάγδην.

Όπως αναφέρθηκε, εξετάστηκαν τα κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης, προκειμένου να προταθούν μέτρα πολιτικής. Αρχικά, η έρευνα δείχνει ότι όταν μειώνονται τα αποθέματα επιφανειακών υδάτων, οι αγρότες αντλούν από υπόγεια ύδατα, που αποτελούν τη κύρια πηγή άρδευσης, ακόμη και αν η άντληση αυξάνει το συνολικό κόστος παραγωγής ή μειώνει την απόδοση. Η πλειοψηφία των αγροτών αγνοεί την ποσότητα νερού που καταναλώνουν, αλλά όλοι χρησιμοποιούν πρόσθετο νερό από τον υπόγειο υδροφόρο.

Μέσω της περίπτωσης που έπρεπε να επιλέξουν την πιο σημαντική πρόκληση στη περιοχή, μπορούμε να διαπιστωθεί η εικόνα που έχουν οι ίδιοι οι αγρότες απέναντι στην κατάσταση, με κυρίαρχη απάντηση την ξηρασία.



Σχήμα 6. 4 Ποσοστό με βάση τη σημαντικότερη πρόκληση που αντιμετωπίζει η περιοχή (Μπουζούκης, 2016).

Ένα μεγάλο ποσοστό 22% θεώρησε τη λειψυδρία ως σημαντικότερη πρόκληση, ελπίζοντας στην ανασύσταση της λίμνης για ελάφρυνση του υπόγειου υδροφόρου. Σημαντικό είναι πως 1/3 των αγροτών έχει βρεθεί αντιμέτωπο με το πρόβλημα της λειψυδρίας, με επιπτώσεις στη σοδειά του, στα οικονομικά, και στην εύρεση εναλλακτικής πηγής άρδευσης.



Σχήμα 6. 5 Ποσοστιαία κατανομή βάσει του τρόπου αντιμετώπισης λειψυδρίας (Μπουζούκης, 2016).

Το μεγαλύτερο ποσοστό δεν βρήκε κάποια λύση στο πρόβλημα της λειψυδρίας, ελπίζοντας σε μια πιθανή βροχή. Ένα ποσοστό 71,34% (που έχουν ως κύρια πηγή άρδευσης τα υπόγεια ύδατα) δήλωσε ότι κατέχουν μη καταγεγραμμένες γεωτρήσεις, δηλαδή νερό το οποίο προφανώς δεν πληρώνουν, και ότι αν το νερό δεν είναι αρκετό, αυξάνουν το βάθος γεώτρησης (το μέσο βάθος είναι περίπου 350 μ.) (19% των αγροτών).



Σχήμα 6. 6 Ποσοστιαία κατανομή βάσει των αιτιών έλλειψης νερού, σύμφωνα με τους αγρότες (Μπουζούκης, 2016).

Επιπλέον, το 52% πιστεύει ότι δεν υπάρχει λύση για τη λειψυδρία, και όταν το αντιμετωπίζουν, κατηγορούν τους άλλους αγρότες. Κυριότερο αίτιο, με μικρή απόκλιση από τα άλλα, θεωρούν την έλλειψη κανόνων και κανονισμών, καθώς και την κλιματική αλλαγή. Σημαντικό είναι πως ένα ποσοστό 19%, παραδέχεται πως η ανεξέλεγκτη άντληση από ιδιωτικές ή και παράνομες γεωτρήσεις έχει επίπτωση στον υπόγειο υδροφόρα.

6.2 Συμπέρασμα

Η λεκάνη απορροής είναι κυρίως αγροτική. Έτσι λοιπόν, έχοντας λάβει υπόψιν τη στάση των αγροτών, μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα πως ένα σενάριο σαν και το Σενάριο 2a θα τους έβρισκε σύμφωνους για μια τέτοια μεταρρύθμιση. Από τη μία γιατί δεν επιβαρύνονται με το κόστος εφαρμογής του σεναρίου-έχοντας παράλληλα και τα υψηλότερα κέρδη- και από την άλλη, όπως φάνηκε, επιθυμούν να τεθεί σε λειτουργία ο ταμιευτήρας. Με αυτό τον τρόπο η λεκάνη εμφανίζει απόθεμα νερού αλλά και μειώνονται οι συγκεντρώσεις των Χημικών Παραμέτρων και Γεωργικών Φαρμάκων που υποβαθμίζουν την ποιότητα νερού. Είναι πολύ σημαντικό όμως η διαχείριση των πόρων να γίνεται με ορθολογικά κριτήρια και η νοοτροπία των αγροτών να στηρίζεται στη βιώσιμη ανάπτυξη, ανεξαρτήτως διαχειριστικών σεναρίων.

7 ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΕΡΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΚΑΙ ΑΛΛΕΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ

7.1 Επιλογή σεναρίου με βάση το έτος-στόχο 2015

Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα που η εξήχθησαν από την παρούσα εργασία, είναι αντιληπτό πως η εφαρμογή του σεναρίου μείωσης απωλειών του δικτύου σε συνδυασμό με τη λειτουργία ταμιευτήρα , επιτυγχάνει καλά αποτελέσματα σε πολλούς στόχους (Scenario 2a).

Η έννοια «μείωση απωλειών» αναφέρεται όχι μόνο στην επισκευή και συντήρηση του υφιστάμενου δικτύου, αλλά και στην κατασκευή κλειστών δικτύων. Αποτελεί μια εναλλακτική άμεσα υλοποιήσιμη, συγκριτικά με τη διαχείριση ζήτησης, με σχετικά χαμηλό κόστος εφαρμογής. Η λειτουργία ταμιευτήρα αποφορτίζει τα υπόγεια ύδατα, δημιουργώντας έτσι στο δίκτυο μια νέα ζώνη τροφοδότησης, καλύπτοντας τις ανάγκες σε νερό σε περιόδους μειωμένων παροχών. Κατά την εφαρμογή του παραπάνω σεναρίου εξασφαλίζεται μεγαλύτερο απόθεμα νερού, γεγονός που συμβάλλει και στην ποιοτική βελτίωση των υδάτων, όπως φάνηκε και από τα αποτελέσματα της αραίωσης, παραπάνω. Ακόμη, συνδυάζει 'ελάφρυνση' υπόγειου υδροφορέα με αποδοτικότερη χρήση επιφανειακών υδάτων.

Βάσει των γραφημάτων που ακολουθούν αποδεικνύεται δηλαδή πως η επιλογή αυτού του σεναρίου μπορεί να επιτύχει αρκετούς στόχους. Αρχικά, όσον αφορά στο υδατικό ισοζύγιο, επιφέρει το μεγαλύτερο απόθεμα νερού στη λεκάνη απορροής (49.6 hm^3). Αυτό γιατί, συνδυάζει τη λειτουργία ταμιευτήρα καθώς και τη συντήρηση και καθαρισμό του υφιστάμενου δικτύου (μείωση απωλειών). Με αυτή και μόνο την εφαρμογή του διαχειριστικού σεναρίου 2a, επιτυγχάνεται η μείωση των συγκεντρώσεων των Χημικών Παραμέτρων και των Γεωργικών Φαρμάκων, που επιβαρύνουν τους υδάτινους αποδέκτες από 29% έως και 68%. Ακόμη, τα καθαρά κέρδη των αγροτών είναι αρκετά υψηλά και ανέρχονται στα 35 εκ. €, ενώ το κόστος εφαρμογής του σεναρίου ανέρχεται σε 2,4 εκ. €- αρκετά χαμηλό σε σχέση με τα υπόλοιπα. Αξίζει να σημειωθεί πως το κόστος εφαρμογής του σεναρίου δεν επιβαρύνει τον αγρότη αλλά δίνεται σε κρατικούς μηχανισμούς. Υπάρχουν ναι μεν και οικονομικότερα Σενάρια που δεν καλύπτουν όμως καθολικά τους υπόλοιπους στόχους. Σημαντικό είναι ακόμα το γεγονός ότι, χωρίς την αλλαγή της υφιστάμενης κατανομής των καλλιεργειών, η αξία νερού είναι υψηλότερη σε σχέση με όλα τα υπόλοιπα σενάρια ($0,02 \text{ €/m}^3$), λόγω του ταμιευτήρα αλλά και της μείωσης απωλειών.

7.2 Άλλες εναλλακτικές

Είναι πολύ σημαντικό το γεγονός ότι η επιλογή ενός καθολικά βέλτιστου σεναρίου δεν είναι πάντα εύκολη υπόθεση. Για το λόγο αυτό λοιπόν, προτείνεται εναλλακτικές λύσεις όπως:

- Κατασκευή μικρότερων δεξαμενών, η καταγραφή όλων των πηγαδιών και η αλλαγή πολιτικής από τις αρμόδιες αρχές. Οι συνέπειες της υπερεκμετάλλευσης του υδροφόρου ορίζοντα πρέπει να γίνουν σαφείς στους ενδιαφερόμενους.

Επιπλέον, προτείνονται πρόσθετα μέτρα όπως:

- Μείωση απωλειών (Σενάρια α). Η κατασκευή ενός δικτύου πεπιεσμένου νερού θα πρέπει επίσης να μειώσει τις απώλειες.

- Μείωση του κόστους διατήρησης του νερού στη δεξαμενή, καθώς δεν λειτουργεί, και το νερό μολύνεται.
- Η χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για τη λειτουργία φρεατίων και αντλιών (π.χ. ανεμογεννητριών) προκειμένου να μειωθεί το κόστος.
- Σε περίπτωση που δεν εφαρμοστούν περιβαλλοντικά μέτρα, ως αντισταθμιστικά μέτρα προτείνεται η μείωση του κόστους παραγωγής ή η αύξηση της παραγωγικότητας. Και οι δύο απαιτούν είτε άλλη κατανομή καλλιεργειών, είτε πιο αποδοτική χρήση νερού .
- Μια πιο αποτελεσματική χρήση του νερού μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση συστημάτων στάγδην άρδευσης, με τα οφέλη που υπολογίζονται στα Σενάρια b.
- Πρέπει να εφαρμοστούν μέτρα βιώσιμης εκμετάλλευσης της γης, με πιο αποτελεσματικές και λιγότερο υδροβόρες καλλιέργειες (Σενάρια c, d).

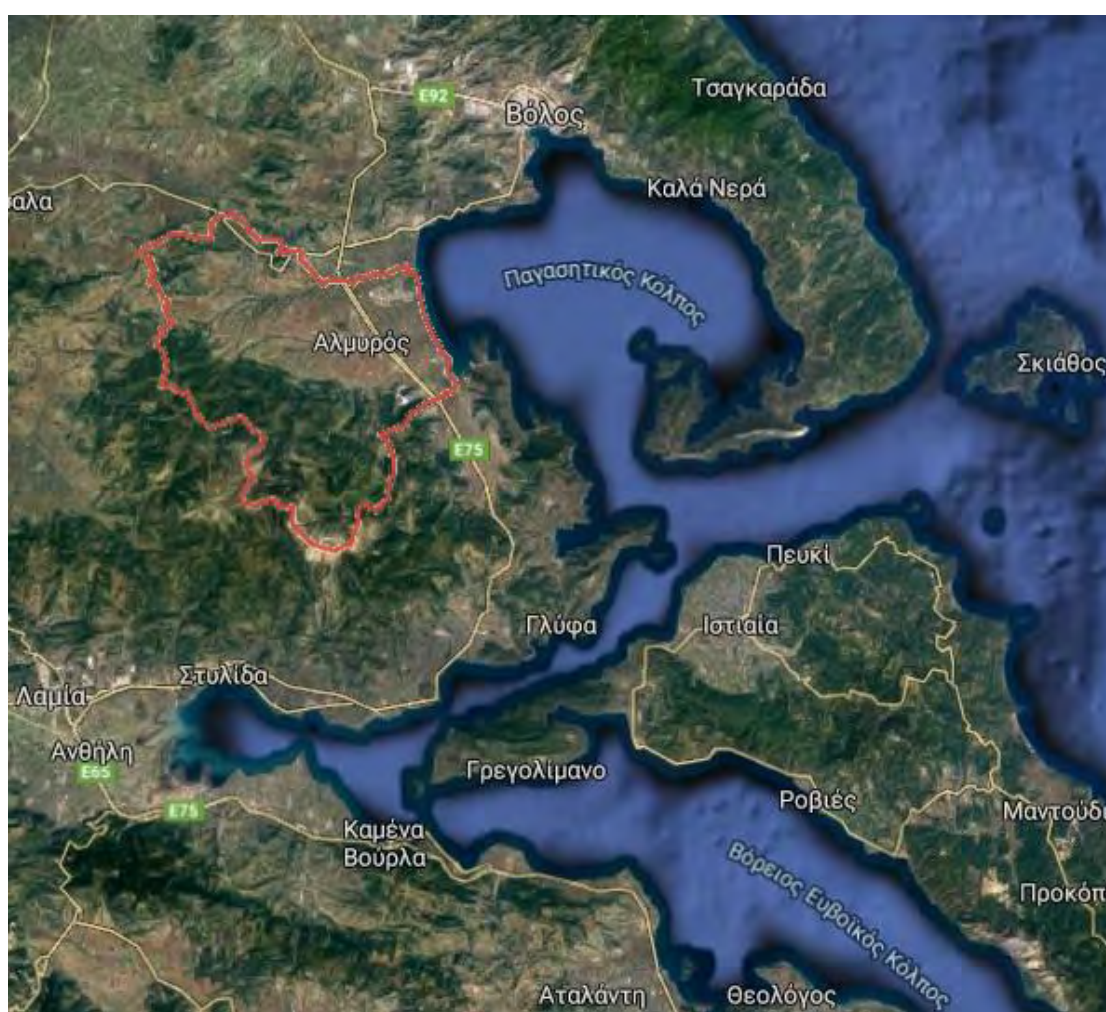
Όσον αφορά τη διαχείριση της ζήτησης νερού στη λεκάνη απορροής, η ευκολότερη επιλογή είναι να περιοριστούν οι απώλειες άρδευσης και να ξεκινήσει η λειτουργία του νέου ταμιευτήρα (Σενάριο 2a). Η βάση για την επιτυχία όλων αυτών των πολιτικών είναι και πάλι η εκπαίδευση των αγροτών, η εξειδίκευση των παραγωγών σε νέες καλλιέργειες, η χρήση καινοτόμων μεθόδων παραγωγής και η αξιοποίηση όλων των απαιτούμενων τεχνολογικών μέσων για την επίτευξη του στόχου τους. Σε αυτό το σημείο, ο ρόλος επιστημόνων και εμπειρογνομόνων, όπως οι γεωπόνοι, είναι πολύ σημαντικός, διότι θα είναι σε θέση να παρέχουν κατάρτιση, καθοδήγηση και λύσεις στους αγρότες. Τα χρήματα που προέρχονται από την εφαρμογή των μέτρων διαχείρισης θα μπορούσαν να επενδυθούν για αυτούς τους σκοπούς.

Το θέμα που αφορά κάθε γεωργό είναι τι πρέπει να καλλιεργήσει και ποια καλλιέργεια υποχωρεί, προκειμένου να επιτευχθούν τα μεγαλύτερα κέρδη. Από την άλλη πλευρά, οι παραγωγικοί στόχοι θα πρέπει να επιτευχθούν με σωστή και βιώσιμη διαχείριση των υδάτινων πόρων. Δυστυχώς αυτό δεν είναι τόσο εύκολο στην Ελλάδα. Δύο από τους κύριους λόγους που δυσκολεύουν είναι η έλλειψη θεσμικού ελέγχου και η απουσία των απαραίτητων δεδομένων.

8 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΑΛΛΕΣ ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΛΕΚΑΝΕΣ ΤΗΣ ΧΩΡΑΣ

8.1 Περίπτωση Αλμυρού

Η λεκάνη του Αλμυρού γεωγραφικά βρίσκεται στο νοτιοανατολικό άκρο της Θεσσαλικής πεδιάδας και καλύπτει έκταση 849,77 km² περίπου, όπως προέκυψε από εμβαδομέτρηση με τη χρήση του λογισμικού ArcGis 10 (Sidiropoulos et al., 2016). Η μεγάλη πεδινή έκταση ευνοεί την ανάπτυξη των γεωργικών εκμεταλλεύσεων, οι οποίες και απορροφούν το μεγαλύτερο ποσοστό των υδατικών πόρων για την άρδευση, ενώ επιπλέον η χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων επιβαρύνει ποιοτικά τα υπόγεια νερά (Γεωργιάδου, 2015). Στις παράκτιες περιοχές που ανήκει και ο Αλμυρός, επικρατεί κλίμα ξηρό προς ξηροθερμικό με επίδραση από τη θάλασσα.



Εικόνα 8. 1 Χάρτης απεικόνισης της λεκάνης του Αλμυρού (Google maps, 2019).

Η περιοχή του Αλμυρού έχει μεγάλη ανάγκη από αρδευτικό νερό, δεδομένου ότι δεν υπάρχει σημαντικός οργανισμός επιφανειακών υδάτων ούτε οργανωμένο αρδευτικό δίκτυο. Η άρδευση γίνεται στο σύνολό της με γεωτρήσεις, οι οποίες βρίσκονται σε συνθήκες υπερεκμετάλλευσης και σε συνδυασμό με τις λιγότερες βροχοπτώσεις τα τελευταία χρόνια, έχει ως αποτέλεσμα τη πτώση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα και σε αδυναμία της κάλυψης των αναγκών (Χουλιάρá, 2014).



Σχήμα 8. 1 Ποσοστά με βάση τις χρήσεις γης στη λεκάνη του Αλμυρού.

Το μεγαλύτερο πρόβλημα της λεκάνης του Αλμυρού αποτελεί η πτώση στάθμης καθώς όλοι εξυπηρετούνται από υπόγειο νερό, και ταυτόχρονα εισέρχεται θαλασσινό νερό με αποτέλεσμα να έχουμε έντονη υφαλμύριση. Το νερό αυτό, λοιπόν, δεν είναι κατάλληλο για πόση αλλά ούτε και για άρδευση καλλιεργειών.

Επιπλέον, σχετικά με τη διαχείριση του αγροτικού νερού, αξίζει να αναφερθεί ότι ο Τοπικός Οργανισμός Εγγείων Βελτιώσεων (ΤΟΕΒ Αλμυρού) ήταν υπεύθυνος για τη διανομή και τη χρέωση του νερού των γεωτρήσεων. Πριν το 2014-15 φαίνεται ότι ο ΤΟΕΒ σταμάτησε να λειτουργεί και οι αρμοδιότητες μεταφέρθηκαν στη ΔΕΥΑ Αλμυρού. Πλέον, το αγροτικό νερό είτε δεν τιμολογείται είτε χρεώνεται μόνο το κόστος λειτουργίας των γεωτρήσεων. Η ασαφής αυτή κατάσταση είναι εμφανές ότι δεν παρέχει κανένα κίνητρο εξοικονόμησης και υποβαθμίζει την αξία του νερού.

8.1.1 Καλλιέργειες

Η καλλιεργούμενη έκταση τις τελευταίες δεκαετίες κυμαίνεται από 60χιλ. – 110χιλ. στρέμματα. Η καλλιέργεια που επικρατεί είναι τα σιτηρά που καταλαμβάνει το 50,46% της συνολικής έκτασης, ενώ σε αρκετά μεγάλη έκταση καλλιεργούνται βαμβάκι (14,21%) και ελιές (15,15%) (στοιχεία 2006-2015). Σημαντικό είναι τέλος το ποσοστό 10,01% που χρησιμοποιείται για την καλλιέργεια κτηνοτροφικών φυτών για ζωοτροφές (μηδική) (Ακριτίδης, 2018).



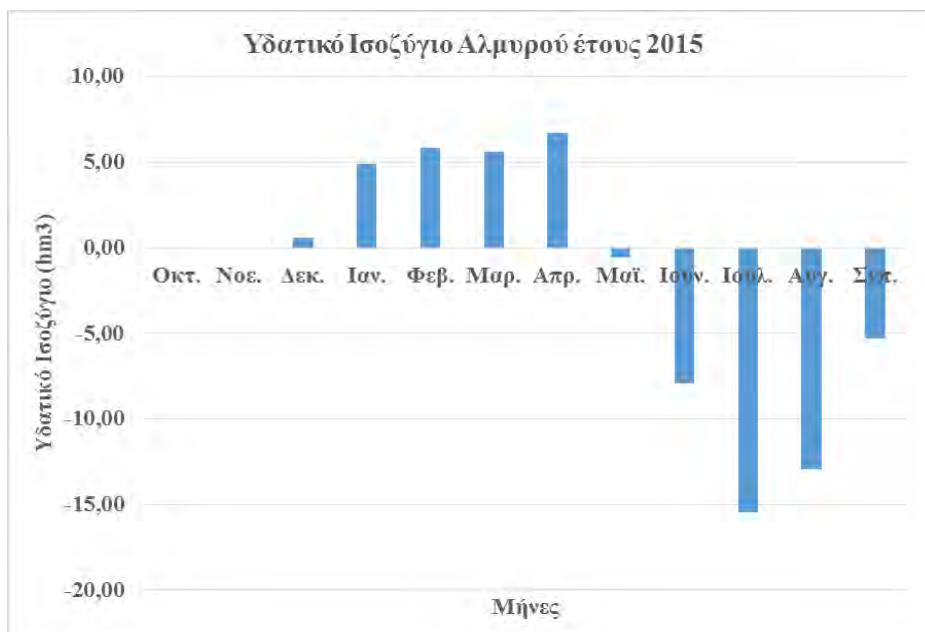
Σχήμα 8. 2 Ποσοστιαία κατανομή των καλλιεργειών της λεκάνης του Αλμυρού για τα έτη 2006-2015.

8.1.2 Υδατικό Ισοζύγιο

Με βάση τις παραπάνω εκτάσεις, τις αρδευτικές απαιτήσεις των καλλιεργειών και την προσφορά του υπόγειου υδροφορέα, έχει υπολογιστεί, με τον ίδιο τρόπο που αναλύθηκε και στην περίπτωση της Κάρλας, το υδατικό ισοζύγιο για το έτος 2015.

Πίνακας 8. 1 Αποτελέσματα αρδευτικών απαιτήσεων (hm^3), προσφοράς (hm^3) και υδατικού ισοζυγίου για το έτος 2015.

Μήνες	Αρδευτικές Απαιτήσεις (hm^3)	Προσφορά (hm^3)	Υδατικό Ισοζύγιο (hm^3)
Οκτ.	0,00	0,00	0,00
Νοε.	0,00	0,00	0,00
Δεκ.	0,00	0,56	0,56
Ιαν.	0,00	4,88	4,88
Φεβ.	0,00	5,85	5,85
Μαρ.	0,00	5,58	5,58
Απρ.	3,42	10,15	6,72
Μαι.	3,71	3,12	-0,59
Ιουν.	8,97	1,05	-7,92
Ιουλ.	15,45	0,00	-15,45
Αυγ.	12,96	0,00	-12,96
Σεπ.	5,32	0,00	-5,32
Σύνολο	49,83	31,19	-18,64



Σχήμα 8. 3 Διάγραμμα υδατικού ισοζυγίου για τη λεκάνη απορροής του Αλμυρού έτους 2015.

Προκύπτει λοιπόν, σύμφωνα με τα παραπάνω, πως αυτή η περιοχή εμφάνισε έλλειμα στο υδατικό ισοζύγιο, πράγμα που σημαίνει πως οι αρδευτικές απαιτήσεις ξεπερνούν την προσφορά του υπόγειου υδροφορέα. Όπως προαναφέρθηκε, μοναδική πηγή αρδεύσεων, δηλαδή προσφοράς, αποτελεί ο υπόγειος υδροφορέας. Έτσι λοιπόν, τους καλοκαιρινούς μήνες, λόγω μειωμένων βροχοπτώσεων και υψηλών θερμοκρασιών, η προσφορά είναι σχεδόν μηδενική με αποτέλεσμα τότε να έχουμε τα μεγαλύτερα ελλείματα στο υδατικό ισοζύγιο.

8.1.3 Κέρδη από την αγροτική δραστηριότητα

Με τη χρήση του απλού λογιστικού μοντέλου, που αναλύθηκε στη μεθοδολογία Εξίσωση 4.15, υπολογίσθηκαν τα καθαρά κέρδη από την αγροτική δραστηριότητα στην περιοχή του Αλμυρού για το έτος 2015.

Πίνακας 8. 2 Καθαρά κέρδη από την αγροτική δραστηριότητα για κάθε καλλιέργεια στον Αλμυρό.

Καλλιέργειες	Καθαρά Κέρδη (€)
Μηδική	1.720.764,00
Αραβόσιτος	180.000,96
Σιτάρι	2.178.382,75
Βαμβάκι	3.058.891,50
Δενδρώδη	720.525,75
Ζαχαρότευτλα	275.739,50
Αμπελώνες	913.750,00
Ελιές	31.607,50
Κηπευτικά	280.232,62
Σύνολο	9.359.894,58

Με βάση την κατανομή των εκτάσεων τα σιτηρά καλύπτουν το μεγαλύτερο ποσοστό της έκτασης, επιφέροντας υψηλά κέρδη. Βέβαια, τα κέρδη δεν εξαρτώνται αποκλειστικά από την κατανομή των εκτάσεων αλλά και από την τιμή του κάθε προϊόντος, το κόστος

παραγωγής του και τις επιδοτήσεις. Για το λόγο αυτό, στην καλλιέργεια του βαμβακιού παρατηρούνται τα υψηλότερα κέρδη.

8.1.4 Ποιοτική κατάσταση υπόγειων υδάτων

Λαμβάνοντας υπόψιν το γεγονός ότι η ευρύτερη περιοχή του Αλμυρού βασίζεται στη γεωργία, δεν αρκεί μόνο η ποσοτική διερεύνηση του νερού, αλλά και η ποιοτική ανάλυσή του. Για την αποδοτικότητα των καλλιεργειών, γίνεται συχνή χρήση γεωργικών φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων με αποτέλεσμα να καταλήγουν στα υπόγεια ύδατα. Χημικά στοιχεία και ουσίες των φυτοφαρμάκων διαταράσσουν την ισορροπημένη κατάσταση των υδάτων, με άμεση συνέπεια την ποιοτική υποβάθμισή τους.

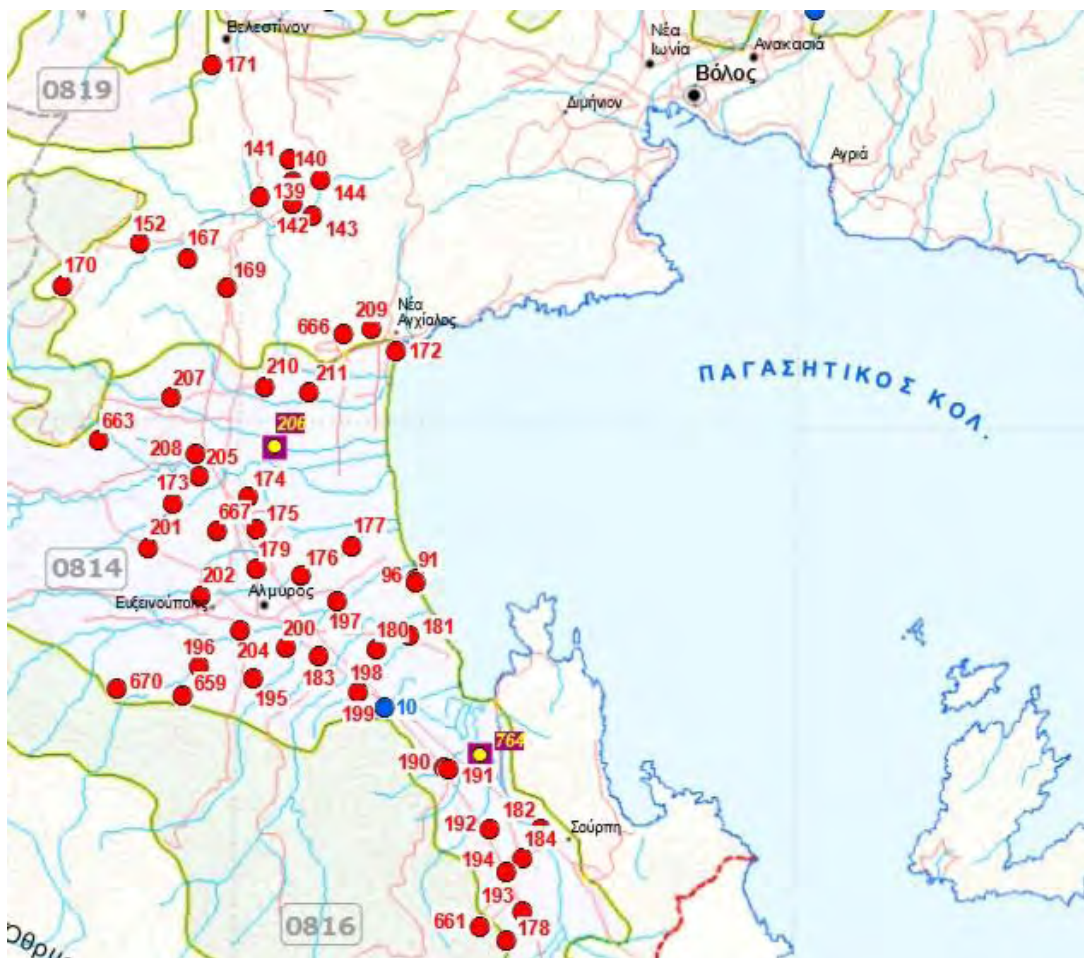
Πίνακας 8. 3 Τόνοι λίπανσης που απαιτούνται για κάθε καλλιέργεια στον Αλμυρό.

Καλλιέργειες	Λίπανση (tn)
Μηδική	30,46
Αραβόσιτος	60,31
Σιτάρι	558,56
Βαμβάκι	499,28
Δενδρώδη	30,44
Ζαχαρότευτλα	44,51
Αμπελώνες	134,38
Κηπευτικά	17,74
Σύνολο	1.375,67

Επίσης, λόγω της υπεράντλησης, παρατηρείται μείωση της ποσότητας αλλά και υποβάθμιση της ποιότητας του αντλούμενου νερού από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες (Γεωργιάδου, 2015).

Λόγω της έντονης πτώσης στάθμης του υπόγειου υδροφορέα, ένα σημαντικό ζήτημα που αντιμετωπίζει η περιοχή μελέτης είναι το φαινόμενο της υφαλμύρινσης, λόγω της διείσδυσης του θαλασσινού νερού, αλλοιώνοντας έτσι τη χημική σύστασή του.

Τέτοιες αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν από το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.). Βασικός σκοπός του είναι η γεωλογική μελέτη της χώρας, η έρευνα και η αξιολόγηση των ορυκτών πρώτων υλών (πλην υδρογονανθράκων) και υπόγειων νερών. Οι χημικές αναλύσεις για τη λεκάνη του Αλμυρού, ανακτήθηκαν από την καταγραφή και αποτίμηση των υδρογεωλογικών χαρακτήρων των υπογείων νερών στο υδατικό διαμέρισμα Θεσσαλίας (Θεσσαλονίκη, 2010).



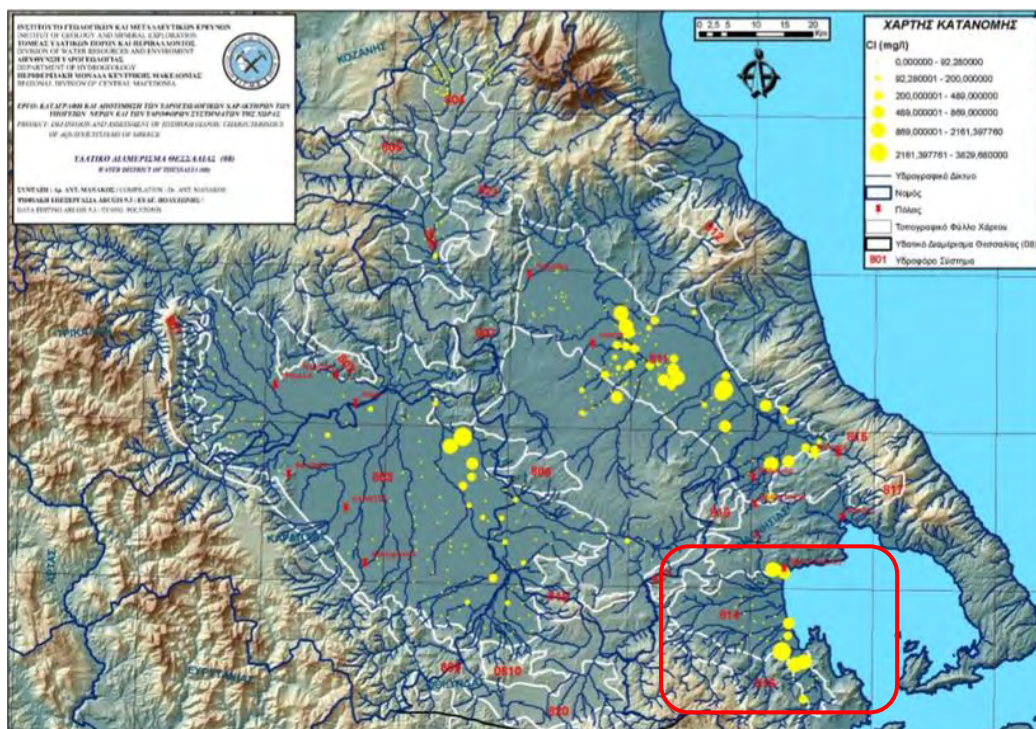
Εικόνα 8. 2 Κατανομή μελετηθέντων γεωτρήσεων και πηγών στην περιοχή του Αλμυρού (ΙΓΜΕ, 2010).

Όπως αναφέρθηκε στη περιοχή υπάρχει σημαντική πυκνότητα γεωτρήσεων, άρα και μεγάλος αριθμός καλλιεργούμενων εκτάσεων. Οι συγκεκριμένες γεωτρήσεις που μελετήθηκαν αποτελούν τη μειοψηφία των συνολικών. Αξίζει να σημειωθεί πως η συντριπτική πλειοψηφία των γεωτρήσεων είναι παράνομες με τον ακριβή αριθμό τους να είναι άγνωστος στις αρμόδιες υπηρεσίες.

Η χρήση λιπασμάτων και γεωργικών φαρμάκων είναι αρκετά αυξημένη, κάτι το οποίο αποδεικνύει ο παρακάτω πίνακας, με έναν μεγάλο αριθμό γεωτρήσεων να εμφανίζει συγκεντρώσεις νιτρικών εκτός ορίων. Με βάση επίσημες καταγραφές γεωτρήσεων του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών για το έτος 2010 σε επίπεδο Θεσσαλίας, αντιστοιχίζοντας ποιες γεωτρήσεις ανήκουν στην περιοχή του Αλμυρού, μέσω πινάκων χημικών δεικτών, αποδεικνύεται η παρουσία κατιόντων χλωρίου (Cl) πάνω από τα επιτρεπόμενα όρια. Ιδιαίτερο πρόβλημα παρατηρείται στη παράκτια ζώνη και ειδικά στο ανατολικό άκρο, όπου επιβεβαιώνεται στον πίνακα συγκεντρώσεων. Αυτό επιβεβαιώνεται και από την Εικόνα 9.3, όπου με κόκκινο πλαίσιο επισημαίνεται η περιοχή με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις. Η περιοχή αυτή εμφανίζει τις μέγιστες συγκεντρώσεις χλωρίου, διότι ανήκει στην παράκτια ζώνη που αντιμετωπίζει εντονότερο πρόβλημα υφαλμύρινσης. Αξιοσημείωτες είναι οι συγκεντρώσεις και σε γειτονικές γεωτρήσεις λόγω είτε βιομηχανιών είτε εποχιακά αυξημένων μετρήσεων.

Πίνακας 8. 4 Συγκεντρώσεις χημικών στοιχείων έπειτα από ανάλυση υδάτων στις γεωτρήσεις, στην περιοχή του Αλμυρού (ΙΓΜΕ, 2010).

Χημική Ανάλυση-Συγκεντρώσεις σε mg/l						
Ανώτατα επιτρεπτά όρια	50	175	400	250	250	25
Αριθμός γεώτρησης	Mg ²⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻
10 (Πηγή)	126	1150	366	2145	343	<5
91	55,9	144	204	718	54,4	14,1
168	55,7	206,9	491	340	60	5
172	70,5	198	6,38	3,99	41,4	13,2
173	42,2	28,6	418	32,3	10	17,9
176	22,86	15,63	250,18	23,05	31,22	37,21
177	17,02	12,26	248,96	45,38	35	62,01
178	55,4	35,6	497	62	10	18,5
179	29,2	14,6	278	17,4	11,7	37,2
180	9,73	8,69	189,16	17,37	20,8	31,01
181	19,46	29,89	173,3	269,47	33,62	18,6
182	26,7	16,09	316,08	45,74	40,5	37,26
183	7,78	14,82	250,18	29,43	23	49,61
184	50,83	20,69	380,76	47,87	19,21	31,01
190	77,32	586,21	247,71	1258,42	124,88	<5
192	30,6	21,8	244	62	63,6	91,4
196	4,23	21,45	219,79	28,36	49,1	86,81
197	18,5	14	281	40,1	27,2	45,8
199	29,18	58,29	240,42	199,97	40,6	49,61
200	12,65	18,14	255,06	41,13	28	49,61
201	31,1	11	366	14,2	10	84,4
204	13,13	13,79	201,37	39	24,02	31,01
208	34,8	21,7	388	34,7	28,8	62
210	45,7	31,9	404	50,4	10	31
211	48,6	15,3	465	34,3	10	12,4
659	5,35	8,94	317,3	21,27	19,8	37,21
661	119	505	519	1081	222	25,2
667	7,3	16,1	427	22,7	10	24,7
670	30,6	51,7	361	46,1	63,1	58,7



Εικόνα 8. 3 Χάρτης κατανομής συγκεντρώσεων κατιόντων χλωρίου (Cl) στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλίας (ΓΓΜΕ, 2010).

8.1.5 Αποτίμηση αξίας νερού

Ο υπολογισμός της αξίας νερού, πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο μεταβολής του ακαθάριστου κέρδους-όπως αναλύθηκε στη μεθοδολογία- για κάθε υδατικό διαμέρισμα της λεκάνης του Αλμυρού (Ακριτίδης, 2018).

Πίνακας 8. 5 Αποτελέσματα ακαθάριστου κέρδους- $INPA$ (€), αρδευτικών αναγκών- $TCWR$ (m^3) και τελικής αξίας αρδευτικού νερού- $WVAL$ (€/ m^3), Αλμυρού.

Δημοτικό διαμέρισμα	Ακαθάριστο κέρδος $INPA$ (€)	Αρδευτικές ανάγκες $TCWR$ (m^3)	Αξία αρδευτικού νερού $WVAL$ (€/ m^3)
Αλμυρός	1.538.996,60	24.084.605	0,0639
Ευξεινούπολη	367.913,96	3.773.960	0,0975
Νέα Αγχίαλος	550.250,12	4.023.772	0,1367
Σούρπη	114.021,12	3.276.497	0,0348
Αγία Τριάδα	198.065,01	3.503.286	0,0565
Αιδίνιο	364.961,94	2.418.989	0,1509
Ανθότοπος	85.563,79	1.490.709	0,0574
Βρύναινα	1.513,60	641.937	0,0024
Δρυμώνας	30.215,80	1.694.169	0,0178
Κρόκιο	566.737,86	4.808.261	0,1179
Μικροθήβες	11.449,65	2.127.209	0,0054
Περιβλέπτου	627.694,13	8.203.040	0,0765
Πλατάνου	231.825,06	4.241.906	0,0547
Φυλάκη	32.777,05	1.186.209	0,0276

Σε μια ακόμη περιοχή η αξία του νερού κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα, επιβεβαιώνοντας έτσι τη γενικότερη στάση και αντίληψη απέναντι στην αξία του νερού ως αγαθό.

8.2 Περίπτωση Κορώνειας

Η λεκάνη της Μυγδονίας βρίσκεται στην κεντρική Μακεδονία και τοποθετείται στην βορειοανατολική πλευρά της πόλης της Θεσσαλονίκης. Καλύπτει την περιοχή πάνω από την χερσόνησο της Χαλκιδικής και έχει έκταση 2.061,48 km². Η συγκεκριμένη λεκάνη απορροής εμφανίζει μέσο υψόμετρο 338m.



Εικόνα 8. 4 Χάρτης απεικόνισης της λίμνης Κορώνειας (Google maps, 2019).

Η Μυγδονία λεκάνη χωρίζεται σε δύο επιμέρους λεκάνες, την υπολεκάνη Λαγκαδά με τη λίμνη Κορώνεια (768,11 km²) προς τα δυτικά και την υπολεκάνη της Βόλβης με την ομώνυμη λίμνη (1.293,37 km²) προς τα ανατολικά (Malamataris et al 2017). Οι λίμνες Κορώνεια και Βόλβη βρίσκονται στο χαμηλότερο σημείο της λεκάνης, με την μεταξύ τους απόσταση να ανέρχεται στα 10 km. Οι δύο λίμνες συνθέτουν έναν υγρότοπο που επηρεάζεται και επηρεάζεται από τις τρέχουσες οικονομικές δραστηριότητες σε ολόκληρη τη λεκάνη απορροής (Malamataris et al, 2017).

Η Λίμνη Κορώνεια (ή Λαγκαδά), τοποθετείται περίπου 15km βορειοανατολικά του οικιστικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης, και βρίσκεται σε καθεστώς ειδικής περιβαλλοντικής προστασίας, μαζί με την ευρύτερη περιοχή (Σύμβαση Ramsar, Δίκτυο Natura 2000, Οδηγία Πλαίσιο για το νερό 2000/60/EK).

Από το 1930 η λίμνη Κορώνεια είχε εκτεταμένη έλη στο δυτικό τμήμα της ακόμη και πριν την έντονη ανθρωπογενή δραστηριότητα. Με σκοπό την αποστράγγιση των ελών αυτών στα δυτικά και να αποδοθούν οι εκτάσεις τους στην καλλιέργεια, διανοίχθηκε ενωτική τάφρος (Δερβενίου) στο ανατολικό άκρο της Κορώνειας προς τη λίμνη Βόλβη. Η αποστράγγιση της περίσσειας του νερού της Κορώνειας από τη τάφρο, οδήγησε σταδιακά στη πτώση στάθμης του υπόγειου υδροφορέα, σε συνδυασμό με τις αυξημένες απαιτήσεις των εκατοντάδων νόμιμων και παράνομων γεωτρήσεων. Ήδη από τις αρχές του 1990 παρατηρήθηκε σταδιακή μείωση του όγκου της λίμνης, με συνέπεια τη μείωση της έκτασης που καταλάμβανε, αλλά και του βάθους της. Το καλοκαίρι του 2002 αποξηράνθηκε πλήρως. Το καλοκαίρι του 2003 έγινε εισαγωγή ψαριών (κυρίως κυπρινοειδών) από τους ψαράδες της περιοχής. Το Σεπτέμβριο 2004 η άνθιση του *Prymnesium parvum* οδήγησε σε μαζική απώλεια πτηνών και ψαριών (περισσότερα από 35000 πτηνά) (Michaloudi et al. 2012). Το φθινόπωρο του 2009 αποξηράνθηκε πλήρως για ακόμη μια φορά. (Tekidis; Mouratidis, 2018).

Η συνεχής υποβάθμιση του υδάτινου συστήματος οδήγησε επιστήμονες και αρμόδιους φορείς στην ανάγκη για επίλυση των ζητημάτων που προέκυψαν. Ανάμεσα στις πολυάριθμες μελέτες που εκπονήθηκαν, δύο είναι τα κύρια επιχειρησιακά σχέδια (Master Plan I & II) που έγιναν για τη διάσωση και αποκατάσταση της λίμνης Κορώνειας. Το

πρώτο Master Plan κατατέθηκε το έτος 1998 από την αγγλική εταιρεία Knight Piesold Ltd. σε συνεργασία με την Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Θεσσαλονίκης (ΝΑΘ). Ωστόσο, δεν δόθηκε έγκριση περιβαλλοντικών όρων. Η έντονη αύξηση των γεωργικών και βιομηχανικών δραστηριοτήτων στην ευρύτερη περιοχή καθώς και η επιβάρυνση που δεχόταν η λίμνη Κορώνεια από τους χειμάρρους και τις τάφρους που αποστραγγίζουν στη λεκάνη απορροής της, οδήγησαν στην εφαρμογή ενός αναθεωρημένου σχεδίου αποκατάστασης της λίμνης (Master Plan II-2005). Το σχέδιο αυτό πρότεινε σενάρια ποιοτικής και ποσοτικής αποκατάστασης της λίμνης (Malamataris et.al, 2017) .

Εκτροπή ροών: Για την ομαλότερη εκροή των ρεμάτων Σχολάρι και Λαγκαδικία, προτάθηκε να κατασκευαστούν δυο υπερχειλιστές πριν την τάφρο, με σκοπό την διοχέτευση του 15% του Σχολαρίου, και των Λαγκαδικίων στη λίμνη Κορώνεια.

Αποκατάσταση του υδροφόρου ορίζοντα των υπογείων υδάτων: Με σκοπό την ελάφρυνση του υπόγειου υδροφορέα, προτάθηκε η αφαίρεση των γεωτρήσεων γύρω από το ρέμα του Μπογδάνα και τη δημιουργία ενός δημόσιου δικτύου άρδευσης.

Οι κύριες χρήσεις γης στην περιοχή είναι η γεωργική σε ποσοστό 39,8% και κτηνοτροφική σε ποσοστό 37,3%. Η ευρύτερη περιοχή εμφανίζει έντονη παρουσία βιομηχανιών, με το 80% αυτών να βρίσκονται κοντά στη λίμνη. Ο κλάδος αυτός δραστηριοποιείται έντονα στην παραγωγή και βαφή υφασμάτων, στα γαλακτοκομεία και την τροφοβιομηχανία. Οι παραπάνω δραστηριότητες αντλούν μεγάλες ποσότητες νερού από γεωτρήσεις για τη λειτουργία τους, της τάξεως των 24,3 hm³/έτος (ΥΠΕΧΩΔΕ/Σχέδιο διάσωσης λίμνης Κορώνειας, 1996). Σημαντικό μέρος των αποβλήτων καταλήγει ανεπεξέργαστο στη λίμνη με αποτέλεσμα την ποιοτική επιβάρυνσή της, διαταράσσοντας έτσι τη χλωρίδα και πανίδα της περιοχής.

8.2.1 Καλλιέργειες

Η καλλιεργούμενη έκταση τις τελευταίες δεκαετίες κυμαίνεται σε 63χιλ. στρέμματα. Η καλλιέργεια που επικρατεί είναι ο αραβόσιτος που καταλαμβάνει το 34,66% της συνολικής έκτασης, ενώ σε αρκετά μεγάλη έκταση καλλιεργούνται μηδική (30,35%) και ηλιάνθος (22,26%) (στοιχεία 2013).



Σχήμα 8. 4 Ποσοστιαία κατανομή των καλλιεργειών της λίμνης Κορώνεια έτους 2013 (Malamataris et.al, 2015).

8.2.2 Υδατικό Ισοζύγιο

Λαμβάνοντας υπόψιν τα παραπάνω έργα υποδομής που προτάθηκαν από το Master Plan II -δεδομένου ότι έχουν ήδη εφαρμοστεί στη λίμνη Κορώνεια- υπολογίστηκε το υδατικό

ισοζύγιο, βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα. Προκύπτει ότι τα μέτρα αυτά δεν μπορούν να αντιμετωπίσουν το αρνητικό υδατικό ισοζύγιο το οποίο θα επιδεινωθεί περαιτέρω μέχρι το 2100 λόγω κλιματικής αλλαγής. Στον Πίνακα παρουσιάζεται το υδατικό ισοζύγιο της λίμνης, με έλλειμμα -1,41 hm³/έτος, κάτι που δηλώνει ότι για να έχει έλλειμμα η λίμνη, η λεκάνη θα εμφανίσει ακόμα μεγαλύτερο.

Πίνακας 8. 6 Υδατικό ισοζύγιο 1970-1999 για τη λίμνη Κορώνεια (Malamataris et al, 2017).

	1970-1999
Εισροές στη λίμνη (hm ³ /έτος)	
Βροχόπτωση	20,61
Απορροή	7,49
Εκροή από υπόγεια ύδατα προς τη λίμνη	0,00
Εκροές από τη λίμνη (hm ³ /έτος)	
Εξάτμιση	29,51
Επαναφόρτιση υπόγειου υδροφορέα	0,00
Εκροή από τη λίμνη στον Ποταμό Δερβένι	0,00
Υδατικό ισοζύγιο (hm³/έτος)	-1,41

8.2.3 Ποιοτική κατάσταση υδάτων

Η υπερκατανάλωση και αλόγιστη χωρίς προγραμματισμό διαχείριση των υδάτινων πόρων, έχει οδηγήσει στην ποσοτική και ποιοτική υποβάθμισή τους. Το 1995 τραγικό γεγονός αποτέλεσε η μαζική θανάτωση όλων των ψαριών της λίμνης που αποδόθηκε στο υψηλό pH (>10), εξαιτίας του υψηλού ποσοστού φωτοσύνθεσης του φυτοπλαγκτού, καθώς και των υψηλών επιπέδων συγκέντρωσης αζώτου των αμμωνιακών αλάτων. (Michaloudi et al. 2012). Η στάθμη της λίμνης συνεχώς μειωνόταν-με πτώση έως και 7 μέτρα-καθώς και η επιφάνειά της (Tekidis; Mouratidis, 2018).

Οι μετρήσεις των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών των υδάτων της λίμνης, όπως η αγωγιμότητα, σημείωσαν αύξηση από 1300 μS/cm το 1977 σε > 6000 μS/cm. Οι αυξημένες συγκεντρώσεις φωσφορικών λόγω της έντονης γεωργικής και βιομηχανικής δραστηριότητας (100-1000 μg / L), έδειξαν πως η λίμνη μετατράπηκε σε υπερτροφική (μεγάλος αριθμός κυανοβακτηρίων). Το διαλυμένο οξυγόνο από περίπου 80% το 1983 μειώθηκε σταδιακά σε μόλις 20% το 1997 και έτσι η λίμνη δεν ήταν σε θέση να υποστηρίξει την ύπαρξη ζωής, μέχρι και σήμερα (Mitraki et al, 2004).

8.2.4 Υφιστάμενη κατάσταση

Παρόλο που το αναθεωρημένο πλάνο έχει τεθεί σε ισχύ από το 2004, για να αποκαταστήσει τη λίμνη με πολλές δράσεις που χρηματοδοτούνται εν μέρει από τα

ταμεία της ΕΕ, η πρόοδος αποδείχθηκε αργή. Κατόπιν σύστασης του Επιτρόπου Περιβάλλοντος Janez Potočnik, η Ελλάδα παραπέμπεται στο Ευρωπαϊκό Δικαστήριο για την αποτυχία της προστασίας της λίμνης Κορώνειας. Αναγνωρίστηκε για άλλη μια φορά ότι η λίμνη έχει πληγεί σοβαρά από τη ρύπανση και την παράνομη άντληση νερού, με σοβαρές συνέπειες για την τοπική πανίδα και χλωρίδα (δελτίο τύπου της ΕΕ, 2011).

Σήμερα η λίμνη φαίνεται να παρουσιάζει ανάκαμψη μιας και μετά από μια δεκαετία εμφανίζει μέσο βάθος 1,7m και φιλοξενεί μικρό αριθμό πτηνών και ζώων, χωρίς όμως να μπορεί να αποτελέσει πηγή τροφodότησης για όλη τη λεκάνη. Οι απόψεις διίστανται γύρω από τη σημερινή εικόνα της λίμνης με την κατάσταση να χαρακτηρίζεται ακόμη κρίσιμη, σύμφωνα με τους επιστήμονες που ασχολούνται με την υπόθεση. Από την άλλη πλευρά, φορείς και υπεύθυνοι για την διεκπεραίωση του έργου διάσωσης της λίμνης, υποστηρίζουν ότι θα ανακάμψει στα επόμενα χρόνια. Βέβαια πλέον μιλάμε για ποσοτική αναπλήρωση της λίμνης και όχι για ποιοτική αναβάθμιση των υδάτων άρα τα φαινόμενα αποδεικνύονται πρόσκαιρη ανάκαμψη, αν αναλογιστεί κανείς και τα αποτελέσματα που δόθηκαν από το υδατικό ισοζύγιο, για τις επόμενες δεκαετίες.

8.3 Περίπτωση Λουδία

Αντίστοιχη μελέτη έχει πραγματοποιηθεί για τη λεκάνη απορροής του ποταμού Λουδία από το Λατινόπουλο το 2006. Η λεκάνη του Λουδία βρίσκεται στην Περιφέρεια της Κεντρικής Μακεδονίας, σε απόσταση 30 περίπου χιλιομέτρων από την πόλη της Θεσσαλονίκης. Η συνολική της έκταση είναι 1.450 Km² και βρίσκεται σε καθεστώς ειδικής περιβαλλοντικής προστασίας, μαζί με την ευρύτερη περιοχή (Σύμβαση Ramsar, Δίκτυο Natura 2000, Οδηγία Πλαίσιο για το νερό 2000/60/ΕΚ).



Εικόνα 8. 5 Χάρτης απεικόνισης του ποταμού Λουδία (Google maps, 2019)

Η λεκάνη απορροής του Λουδία οριοθετείται ανατολικά και δυτικά από τις λεκάνες απορροής του Αξιού και του Αλιάκμονα αντίστοιχα, βόρεια από το όρος Πάικο και νότια από το Θερμαϊκό κόλπο. Οι εκβολές του ποταμού δέχονται έντονα την επίδραση του παλιρροιακού φαινομένου καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και ιδιαίτερα του χειμώνα, λόγω της ελάττωσης της παροχής του ποταμού. Ο ποταμός Λουδίας αρχικά ήταν η υπερχειλίση της λίμνης των Γιαννιτσών. Αρχίζει από τη νοτιοανατολική όχθη της λίμνης και κατέληγε στα έλη του δέλτα του ποταμού Αξιού, ο οποίος καθ' όλο το μήκος του

περιβαλλόταν από εκτεταμένα έλη. Για την αποξήρανση της λίμνης Γιαννιτσών ο Λουδίας εκβαθύνθηκε και διευθετήθηκε, έτσι ώστε να αδειάσει τη λίμνη και να δέχεται τα νερά ορισμένων χειμάρρων και ποταμών της βόρειας πλευράς της λίμνης. Το σημερινό του μήκος είναι 39 Km και αρχίζει από το “σημείο μηδέν” Γιαννιτσών όπου συμβάλλουν η κύρια στραγγιστική τάφρος της λίμνης Γιαννιτσών, ο ποταμός Μπάλιτσα, που φέρνει τα νερά των πηγών Αραβησσού και οι χείμαρροι Γιαννιτσών και Τσεκρέ-Τσιναρλή. Εκβάλλει στο Θερμαϊκό κόλπο, ανάμεσα στις εκβολές του Αξιού και του Αλιάκμονα. Έχει βάθος νερού 5m, πλάτος κοίτης 50m και ζώνη κατάληψης με τα αναχώματά του 200m.

Ο Λουδίας λειτουργεί, κυρίως, ως στραγγιστική τάφρος, στην οποία απορρέουν τα νερά της πεδιάδας Θεσσαλονίκης - και ειδικότερα, τα νερά του Αξιού και του Αλιάκμονα που χρησιμοποιούνται στις γεωργικές εκμεταλλεύσεις - καθώς και τα υγρά απόβλητα των ανθρώπινων δραστηριοτήτων της ευρύτερης περιοχής. Χαρακτηριστικό γνώρισμα του ποταμού εξαιτίας αυτής της λειτουργίας του είναι ότι εμφανίζει τη μέγιστη παροχή του κατά τη θερινή περίοδο. Επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι παρατηρείται συχνά το φαινόμενο της διείσδυσης αλμυρού νερού στις εκβολές του, το μέγεθος και η έκταση της οποίας εξαρτάται κυρίως από την παροχή του ποταμού. Όσο μικρότερη είναι η παροχή του ποταμού τόσο μεγαλύτερη είναι η διείσδυση του θαλασσινού νερού. (Λατινόπουλος, 2006). Η μεγάλη πεδινή έκταση ευνοεί την ανάπτυξη των γεωργικών εκμεταλλεύσεων, οι οποίες και απορροφούν το μεγαλύτερο ποσοστό των υδατικών πόρων για την άρδευση, ενώ επιπλέον η χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων επιβαρύνει ποιοτικά τα υπόγεια νερά. Ο Λουδίας περιβαλλοντικά είναι ο πλέον υποβαθμισμένος ποταμός από τους άλλους δύο παρακείμενους, Αξιό και Αλιάκμονα, με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις οργανικών και ανόργανων ρύπων. Το μείζον ζήτημα του ποταμού Λουδία είναι η ποιοτική αναβάθμισή του, με σκοπό να μην διαταράσσεται η ομαλή λειτουργία του φυσικού οικοσυστήματος (ΥπΑΑΤ, 2010).

8.3.1 Καλλιέργειες

Η συνολική έκταση όλων των καλλιεργειών είναι 992 χιλ. στρέμματα και μάλιστα το 91% αυτών αρδεύεται συστηματικά. Οι κυριότερες κατά σειρά καλλιέργειες είναι το βαμβάκι (32,7%), οι ροδακινιές (17,7%), το καλαμπόκι (9,6%), το σιτάρι (6,9%), τα τεύτλα (6,6%) και το ρύζι (6,2%). Λόγω έλλειψης δεδομένων, παρουσιάζεται η κατανομή των καλλιεργειών που ακολουθήθηκε στα έτη 1998-2003.



Σχήμα 8. 5 Ποσοστιαία κατανομή των καλλιεργειών της λεκάνης απορροής Λουδία για τα έτη 1998-2003.

8.3.2 Ποιοτική κατάσταση υπόγειων υδάτων

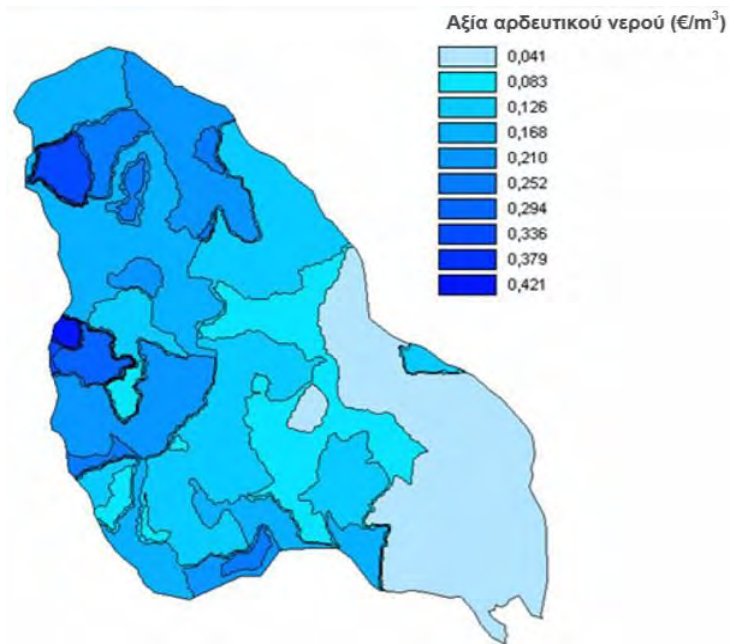
Όπως προαναφέρθηκε, αστικά και βιομηχανικά απόβλητα καθώς και γεωργικά φάρμακα διοχετεύονται στον ποταμό επιφέροντας αρνητικές συνέπειες. Η καφεΐνη αποτέλεσε τον κύριο οργανικό ρύπο των νερών και η παρουσία της στα επιφανειακά νερά σημαίνει ότι αυτά δέχονται υγρά αστικά απόβλητα.

Η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα (1-3mg/l) με αποτέλεσμα, συχνά να αναπτύσσονται αναερόβιες συνθήκες που είναι απαγορευτικές για τη διαβίωση ψαριών και άλλων οργανισμών. Από πλευράς pH τα νερά εμφανίζονται ελαφρώς αλκαλικά (7,9). Τα προβλήματα ρύπανσης στο Λουδία εντείνονται κυρίως λόγω της μικρής παροχής νερού που μειώνει τον φυσικό αυτοκαθαρισμό του αποδέκτη. Επίσης παρατηρείται μεγάλη συγκέντρωση βαρέων μετάλλων, σε σχέση με τα άλλα ποτάμια, όπως αρσενικού, μολύβδου, ψευδαργύρου και σιδήρου.

Οι σχετικά οργανωμένες μετρήσεις ποιότητας των υδάτων του (από το 1982), δείχνουν σημαντικά προβλήματα υποβάθμισης: ορισμένες τιμές των εξεταζόμενων παραμέτρων υπερβαίνουν ακόμη και τα όρια που ισχύουν για το Θερμαϊκό κόλπο (τριπλάσιες των οριακών). Ως κύρια πηγή ρύπανσης θεωρούνται τα όμβρια νερά που εκπλένουν πάνω από 220.000 στρέμματα εντατικών καλλιεργειών. Επικίνδυνα υψηλές θεωρούνται οι συγκεντρώσεις των φωσφορικών (100 φορές υψηλότερες των οριακών) και νιτρικών (20 φορές υψηλότερες του ορίου), γεγονός που οφείλεται στη χρήση λιπασμάτων. Μεγάλες ποσότητες λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων (fluometuron, lenacil, carbendazim, linuron, imidacloprid, molinate, S-metolachlor, atrazine) βρέθηκαν σε εξαιρετικά υψηλές συγκεντρώσεις (Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων/ Έλεγχος χημικής ποιότητας αρδευτικών υδάτων, 2010). Άλλη πηγή ρύπανσης του Λουδία είναι οι βιομηχανίες καθώς και ορισμένες κτηνοτροφικές μονάδες.

8.3.3 Αποτίμηση αξίας νερού

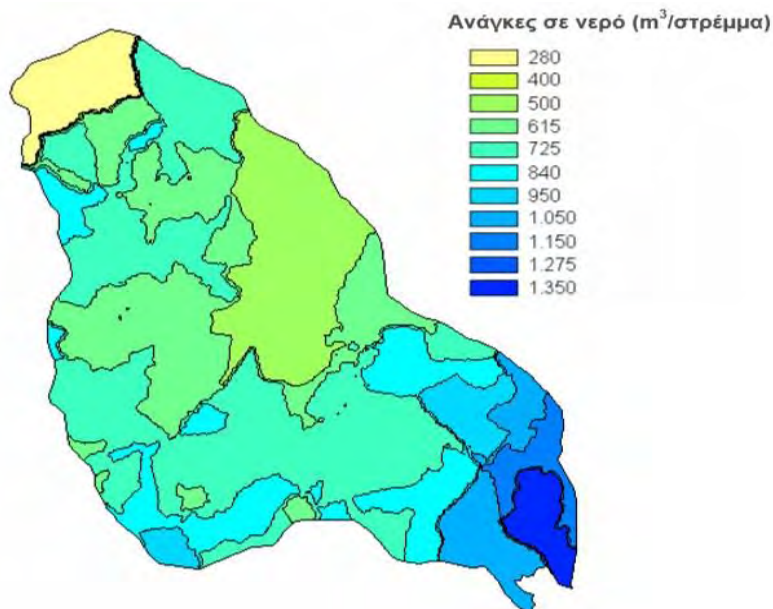
Ο υπολογισμός της αξίας νερού, πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο μεταβολής του ακαθάριστου κέρδους-όπως αναλύθηκε στη μεθοδολογία- για τη λεκάνη του Λουδία.



Σχήμα 8. 6 Αξία αρδευτικού στη λεκάνη του Λουδία (Λατινόπουλος, 2006).

Η αξία του αρδευτικού νερού εμφανίζει σημαντικές μεταβολές από περιοχή σε περιοχή καθώς κυμαίνεται από 0,04 - 0,42 €/m³. Οι περισσότερες περιοχές στη λεκάνη εμφανίζουν όμως χαμηλή αξία νερού. Στα υπόγεια ύδατα αναμένεται περιβαλλοντικά, η αξία να είναι μεγαλύτερη, κάτι που δεν ισχύει στην περίπτωση αυτή. Η χαμηλότερη αξία, λοιπόν, παρατηρείται εκεί που υπάρχουν υπόγεια νερά, γεγονός παράδοξο καθώς συνάδει με την πραγματική νοοτροπία.

8.3.4 Ανάγκες σε νερό



Σχήμα 8. 7 Υδατικές ανάγκες στη λεκάνη του Λουδία (Λατινόπουλος, 2006).

Με βάση υπολογισμούς στην λεκάνη απορροής Κάρλας οι μέσες υδατικές απαιτήσεις αντιστοιχούν σε 1200 m³/στρ, ενώ στη λεκάνη απορροής του Λουδία οι κυρίαρχες τιμές αρδευτικών αναγκών είναι περίπου στα 725 m³/στρ. Αυτό οφείλεται είτε στις

μεγαλύτερες εξυπηρετούμενες εκτάσεις, είτε στη χρήση περισσότερο υδροβόρων καλλιιεργειών στη λεκάνη της Κάρλας απ' ότι στον Λουδία.

8.4 Κοινά στοιχεία και διαφορές

- Σε όλες τις περιοχές επικρατούν παρόμοιες μετεωρολογικές συνθήκες (θερμοκρασία και βροχόπτωση), εμφανίζοντας σχετικά μικρές αποκλίσεις.
- Οι καλλιέργειες ευδοκιμούν με βάση τις μετεωρολογικές συνθήκες μιας περιοχής. Γι' αυτό το λόγο δεν παρατηρείται μεγάλη αλλαγή στην επιλογή του είδους των καλλιιεργειών από τους αγρότες. Κυρίαρχες καλλιέργειες είναι το καλαμπόκι το σιτάρι και το βαμβάκι.
- Η περιοχή του Αλμυρού όπως προαναφέρθηκε, έχει ως μόνη πηγή προσφοράς τα υπόγεια ύδατα. Ενώ στην περιοχή της λεκάνης απορροής Κάρλας, η κύρια πηγή προσφοράς είναι ο υπόγειος υδροφόρος, ένα μέρος των αναγκών καλύπτεται και από τα επιφανειακά ύδατα του Πηνειού. Στη λεκάνη απορροής της Κορώνειας, λόγω του ότι η λίμνη αποξηράνθηκε πηγή αποτέλεσαν τα ρέματα Σχολάρι και Λαγκαδίκια και τα υπόγεια ύδατα. Ο Λουδίας λειτουργεί, κυρίως, ως στραγγιστική τάφρος, στην οποία απορρέουν τα νερά της πεδιάδας Θεσσαλονίκης.
- Σε όλες τις περιοχές μελέτης ο αριθμός των παράνομων γεωτρήσεων είναι υψηλός, με αποτέλεσμα την υπερεκμετάλλευση του υπόγειου υδροφόρου.
- Η απουσία κατάλληλων υπηρεσιών και μέσων ελέγχου (ανύπαρκτοι ΤΟΕΒ), επιβαρύνει τη παραπάνω κατάσταση.
- Οι περιοχές υπάγονται σε αντίστοιχες νομοθεσίες και οδηγίες (Σύμβαση Ramsar, Οδηγία Πλαίσιο για το νερό 2000/60/ΕΚ. NATURA 2000) παρόλα αυτά δεν υπάρχει σωστός χειρισμός λόγω της προαναφερόμενης απουσίας ελέγχου, και της έλλειψης ενημέρωσης και ευαισθητοποίησης των πολιτών.
- Και στις τρεις περιπτώσεις (Κάρλα, Αλμυρός, Κορώνεια), παρατηρείται έλλειμμα υδατικού ισοζυγίου, γεγονός που αποδεικνύει την αλόγιστη άντληση από τον υπόγειο υδροφόρο. Το μεγαλύτερο έλλειμμα στη σύγκριση Κάρλας - Αλμυρού εμφανίζεται στην λεκάνη απορροής της Κάρλας που θα ήταν ακόμη μεγαλύτερο δίχως τη συνεισφορά του Πηνειού, το ισοζύγιο του οποίου, επίσης τυγχάνει να είναι ελαφρώς ελλειμματικό τους καλοκαιρινούς μήνες. Βέβαια για τη περίπτωση της Κορώνειας το ισοζύγιο εμφανίζει πολύ μεγάλο έλλειμμα, και αρνητικό υδατικό ισοζύγιο ακόμη και χωρίς να ληφθούν υπόψη οι καλλιέργειες, γεγονός που αποδεικνύει την άμεση ανάγκη παύσης των αρδεύσεων. Δυστυχώς για τον Λουδία δεν υπάρχουν μελέτες όσον αφορά το υδατικό ισοζύγιο, καθώς η ποιοτική κατάστασή του απασχολεί περισσότερο τους μελετητές.

Πίνακας 8. 7 Υδατικό ισοζύγιο, κέρδη, λίπανση, αξία νερού στις λεκάνες απορροής Κάρλας και Αλμυρού.

Έτος 2015	Κάρλα	Αλμυρός
Υδατικό Ισοζύγιο (hm ³)	-44,24	-18,64
Καθαρά Κέρδη (εκ. €)	35,07	9,4
Λίπανση (tn)	6.045,37	1.375,67
Αξία νερού WVAL (€/m ³)	0,0157	0,0643

- Οι καλλιέργειες σιτάρι και βαμβάκι επιφέρουν τα μεγαλύτερα κέρδη σε σχέση με τις υπόλοιπες, γεγονός που αποδίδεται τόσο στην έκταση τους, όσο και στην οικονομική τους απόδοση. Η διαφορά στα κέρδη των δύο καταστάσεων, οφείλεται στο ότι η γεωργικά εκμεταλλεζόμενη έκταση της Κάρλας ξεπερνά κατά πολύ αυτή του Αλμυρού, κυρίως λόγω διαφοράς έκτασης των λεκανών, και διαφορών στις καλλιεργούμενες εκτάσεις.
- Η έντονη χρήση των λιπασμάτων οδήγησε στην εμφάνιση υψηλών συγκεντρώσεων NO₃⁻, NH₄⁺ (αζώτου) στις λεκάνες απορροής. Εντονότερο πρόβλημα και στα τρία υδάτινα σώματα της λεκάνης της Κάρλας αποτελούν οι υψηλές συγκεντρώσεις φυτοφαρμάκων. Η παρουσία αυξημένων συγκεντρώσεων Cl⁻ (χλωρίου) στον Αλμυρό, έχει προκύψει λόγω του φαινομένου της υφαλμύρινσης. Η λίμνη Κορώνεια χαρακτηρίστηκε ως υπερτροφική με πτώση στάθμης έως 7 μέτρα, αποκλείοντας έτσι το ενδεχόμενο ύπαρξης ζωής μέσω μαζικών απωλειών. Εξίσου ανησυχητική αποτελεί και η ποιοτική κατάσταση του Λουδία όσον αφορά τη διαβίωση των ζωικών οργανισμών, αλλά και λόγω υψηλών συγκεντρώσεων φυτοφαρμάκων από την αγροτική δραστηριότητα.
- Ο δείκτης WVAL δίνει μια καθολική εικόνα στάσης απέναντι στην αξία του νερού ως αγαθό. Σχετικά μικρές τιμές αξίας αρδευτικού νερού σημειώνονται στην Κάρλα στον Αλμυρό αλλά και στον Λουδία, δείγμα ασυνείδητης διαχείρισης και εκμετάλλευσης των διαθέσιμων πόρων. Στον Αλμυρό η αξία του αρδευτικού νερού είναι λίγο μεγαλύτερη συγκριτικά με την περίπτωση της Κάρλας, και αυτό δείχνει το μέγεθος της ζημίας λόγω της μη-τιμολόγησής του. Στη περίπτωση του Λουδία η αξία του νερού είναι ελάχιστα πιο αυξημένη σε σχέση με τις άλλες δυο.

8.5 Γενική διαχείριση μέσω σεναρίων και στις τέσσερις περιοχές

Έχοντας μια εικόνα διαχείρισης υδατικών αλλά και υδάτινων πόρων σε τέσσερις βασικές περιοχές της Ελλάδας, είναι ξεκάθαρο πως επαναλαμβάνεται η ίδια τακτική στη διαχείρισή τους, που χαρακτηρίζεται ελλιπής έως λανθασμένη. Τα σενάρια συσχετίζονται με τη ποσοτική είτε τη ποιοτική αποτελεσματικότερη διαχείριση. Όσον αφορά τη ποσοτική κατάσταση των υδάτων σημαντικό είναι ένα θετικό ή έστω ένα μικρότερο έλλειμα υδατικού ισοζυγίου. Στη Κάρλα όπως προαναφέρθηκε, προτείνεται το σενάριο 2a, γνωρίζοντας βέβαια ότι δεν υπάρχει καθολικά βέλτιστο σενάριο.

Η επιλογή των καλλιεργειών στη περιοχή του Αλμυρού δεν διαφέρει πολύ από αυτές της λεκάνης απορροής της Κάρλας. Στην λεκάνη απορροής του Αλμυρού, μια ανακατανομή

καλλιιεργειών όπως τα σενάρια 1c, 1d θα είχε ως αποτέλεσμα, λιγότερο αρνητικά ελλείματα τους θερινούς μήνες μιας και τους υπόλοιπους φαίνεται να κινείται σε θετικές τιμές. Κυρίαρχες καλλιέργειες είναι το σιτάρι και το βαμβάκι, οπότε θα μπορούσε να μειωθεί η έκταση του βαμβακιού και να προστεθεί στην έκταση του σιταριού που δεν έχει απαίτηση σε αρδευτικό νερό. Στην υπολεκάνη της Κορώνειας, όσον αφορά το υδατικό ισοζύγιο η κατάσταση είναι κρίσιμη με αποτελεσματικό σενάριο την παύση των αρδεύσεων, και όχι απλά την ανακατανομή τους.

Τόσο για την ποσοτική αλλά και για την ποιοτική διαχείριση, και στις τέσσερις περιοχές μελέτης έχει προταθεί ως λύση η παροχή νερού από άλλους υδάτινους πόρους -για παράδειγμα στην Κάρλα από τον Αχελώο- δηλαδή μια λύση διαχείρισης προσφοράς και όχι ζήτησης. Η λογική της παρούσας εργασίας «τίποτα να μη πάει χαμένο», συσχετίζει την ποιοτική αναβάθμιση με την ποσοτική αναπλήρωση μέσω της αραιώσης. Μια κατάλληλη επεξεργασία αποβλήτων (κυρίως βιομηχανικών) σε συνδυασμό με την ενημέρωση ώστε να μειωθεί η χρήση φαρμάκων, θα ήταν ιδανική. Βέβαια οι μονάδες επεξεργασίας ως ακριβό και χρονοβόρο έργο ως προς την υλοποίησή του, είναι δύσκολο να υπάρξουν σε όλες τις περιοχές, και η μειωμένη χρήση φαρμάκων ίσως επιφέρει μικρότερα κέρδη, οπότε γι' αυτό η διαχείριση ζήτησης προτιμάται ως η σίγουρα αποδεκτή. Άρα η αντιστοιχία των παραπάνω σεναρίων για το υδατικό ισοζύγιο για κάθε περιοχή μελέτης, παραμένει ίδια και για την ποιοτική κατάσταση με επιπρόσθετες διεργασίες. Αξίζει να σημειωθεί, πως η δημοσίευση ποιοτικών αναλύσεων της υφιστάμενης κατάστασης κρίνεται απαραίτητη ώστε να είναι εύκολα προσβιβάσιμες στους πολίτες.

Η λεκάνη απορροής του Αλμυρού όπως και ο Λουδίας (δέλτα του Αξιού- Αλιάκμονα-Λουδία), αντιμετωπίζουν το φαινόμενο υφαλμύρισης. Ο έλεγχος της στάθμης του υπογείου νερού είναι ιδιαίτερα σημαντικός σε περιοχές που ο φρεάτιος υδροφόρος είναι κοντά στην επιφάνεια του εδάφους και ειδικά όταν αυτός είναι αλμυρός. Εάν δεν ληφθούν μέτρα ταπείνωσης της στάθμης, όπου αυτό είναι δυνατό, υπάρχει ο κίνδυνος ανόδου του υπόγειου νερού κατά τη διάρκεια της πλύσης του εδάφους με αποτέλεσμα την επαναφορά των αλάτων στην επιφάνεια. Η παραπάνω κατάσταση, θα μπορούσε να αντιμετωπιστεί μέσω συμβατικών μεθόδων όπως η βελτίωση της αποστραγγιστικής ικανότητας του εδάφους (βιο-αποστράγγιση), ή η χρήση μη συμβατικών υδατικών πόρων όπως επεξεργασμένα υγρά απόβλητα, κατάλληλα πλέον για επαναχρησιμοποίηση. Επιπροσθέτως, συστήματα αυτόματης καταγραφής της υγρασίας και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους αποτελούν πολύτιμα εργαλεία για την έγκαιρη ειδοποίηση των παραγωγών με σκοπό τον έλεγχο των αρδεύσεων.

9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

9.1 Γενικά συμπεράσματα

Ως περιοχή μελέτης, επιλέχθηκε η λεκάνη απορροής της λίμνης Κάρλας, μιας και οι συνθήκες ευνοούν την ανάπτυξη της γεωργίας, σε μία από τις μεγαλύτερες και οικολογικά σημαντικότερες λίμνες της Ελλάδας που υπήρξε. Η λεκάνη χαρακτηρίζεται καθαρά αγροτική, εφόσον το 94% του νερού προορίζεται για άρδευση (Alamanos, 2016). Οι καλλιέργειες τροφοδοτούνται από τον υπόγειο υδροφόρα, έκτασης 500 km², και από τα επιφανειακά Πηνειού με απολήψεις 211,2 hm³, εκ των οποίων τα 100 hm³ προορίζονται για τον ταμιευτήρα της Κάρλας.

Ο ποταμός Πηνειός τους χειμερινούς μήνες πλημμυρίζει, με τα νερά αυτά να είναι κύρια πηγή τροφοδότησης της λίμνης Κάρλας, μέσω του ρέματος Ασμακίου. Το γεγονός ότι η λίμνη είναι αβαθής, με χαμηλές κλίσεις πυθμένα, οδηγούσε στη παγίδευση πλημμυρικών υδάτων, με αποτέλεσμα την κατάκλιση της από γεωργικές εκτάσεις γύρω από αυτή. Γι' αυτό, μονόδρομος αποτέλεσε η εντατικοποίηση της γεωργίας. Σε περιόδους ανομβρίας, εμφανίστηκε το φαινόμενο αποξήρανσης της λίμνης, αποκορύφωμα αυτού η τεχνητή αποξήρανσή της (1962) και η διαταραχή του οικοσυστήματος.

Η ανάγκη αποκατάστασης, και ανανέωσης υδάτων έφερε στο προσκήνιο την λειτουργία ενός ταμιευτήρα, που θα 'ελάφρυνε' τον υπόγειο υδροφόρα, αφού οι καλλιέργειες θα τροφοδοτούνταν και από αυτόν. Το έργο αποκατάστασης της λίμνης (ταμιευτήρας), αναμενόταν να υλοποιηθεί το 2012, κάτι που δεν έγινε ποτέ.

Στην παρούσα εργασία, λαμβάνοντας υπόψη την κρίσιμη υφιστάμενη κατάσταση και τα θετικά ενδεχόμενης λειτουργίας ταμιευτήρα, έγινε μια προσπάθεια εκσυγχρονισμού των καθιερωμένων πρακτικών με τεχνικές βασισμένες στις αρχές της ολοκληρωμένης και βιώσιμης διαχείρισης της ζήτησης των υδατικών πόρων. Το μέσο για αυτό το σκοπό ήταν ο συνδυασμός υδρολογικών, οικονομικών και ποιοτικών παραμέτρων σε ενιαίο πλαίσιο διαχειριστικών προτάσεων (σενάρια). Με ορθολογική διαχείριση της ζήτησης φαίνεται να μπορεί να επιτευχθεί η βιωσιμότητα σε μια επιβαρυνμένη και υποβαθμισμένη περιοχή, τόσο περιβαλλοντικά, όσο και οικονομικά.

Η ανάλυση αφορά τα έτη χρονοσειράς 2005-2015, και ιδιαίτερα τα έτη 2012-2015, προτείνοντας διαφορετικές λύσεις -από αυτήν του ταμιευτήρα που δε τέθηκε σε εφαρμογή το 2012- στην υφιστάμενη κατάσταση (Σενάριο 1). Αλλά και συνδυαστικές με το αν είχε τεθεί σε λειτουργία ο ταμιευτήρας (Σενάριο 2). Σε κάθε περίπτωση εφαρμόστηκαν σενάρια τεχνικών μέτρων, βελτίωση απόδοσης δικτύου και μεθόδου άρδευσης (Σενάρια a, b), καθώς και εναλλαγής καλλιεργειών (Σενάρια c, d).

Μια από τις κυριότερες παραμέτρους της εργασίας, αποτέλεσε το υδατικό ισοζύγιο, λόγω της φυσικής σημασίας του. Κάθε καλλιέργεια έχει τη δική της υδατική απαίτηση (Near Irrigation Requirement), που χρειάζεται για να αναπτυχθεί. Οι υδατικές απαιτήσεις εμφανίζουν μείωση ανά τα χρόνια, λόγω μείωσης εκτάσεων ή λόγω αύξησης εκτάσεων λιγότερο υδροβόρων καλλιεργειών. Κάθε σενάριο επιτυγχάνει μείωση των υδατικών απαιτήσεων άρα και μικρότερα ελλείμματα, επιβεβαιώνοντας έτσι τη σημασία της διαχείρισης της ζήτησης. Η ελάφρυνση του υπόγειου υδροφόρα με τη χρήση ταμιευτήρα είναι εμφανέστατη (40 hm³ κατά μέσο όρο), τονίζοντας έτσι τη συνεισφορά του. Θα έπρεπε να τονιστεί ξανά η σημασία των σεναρίων καθώς είτε χωρίς είτε με ταμιευτήρα, μειώνουν την επιβάρυνσή του υπόγειου υδροφόρα για όλα τα έτη αναφοράς. Με τη λειτουργία του ταμιευτήρα, επιτυγχάνονται και μακροπρόθεσμα οφέλη, καθώς δίνεται η δυνατότητα ανανέωσης των υδάτων του υπόγειου υδροφόρα. Το υδατικό ισοζύγιο

προκύπτει ελλειμματικό σε όλη τη χρονοσειρά. Ενθαρρυντική είναι η σταδιακή βελτίωση του ισοζυγίου από κάθε σενάριο στην περίοδο εφαρμογής των μέτρων.

Ένα από τα κριτήρια επιλογής καλλιεργειών για τους αγρότες, αποτελεί η απόδοση της καλλιέργειας σε συνδυασμό με τη τιμή προϊόντος. Τα καθαρά κέρδη από την αγροτική δραστηριότητα, μειώνονται με την πάροδο των ετών, λόγω κατανομής εκτάσεων καλλιεργειών. Η μόνη διαφορά παρουσιάζεται κατά την εφαρμογή των σεναρίων εναλλαγής εκτάσεων, αφού στα σενάρια c, d έγινε μερική αντικατάσταση βαμβακιού, με λιγότερο αποδοτικές καλλιέργειες, σιτάρι και αραβόσιτο. Τα κόστη εφαρμογής των διαχειριστικών σεναρίων που προτείνονται (από πρωτογενή δεδομένα ισολογισμών, παρόμοιων μελετών και εκτιμήσεων των ΤΟΕΒ) δεν πρόκειται να τα επωμιστούν εξ' ολοκλήρου οι ΤΟΕΒ, καθώς πολλά από αυτά υπάγονται στα πλαίσια Κρατικών Ενισχύσεων (π.χ. επιδοτήσεις για εγκατάσταση στάγδην άρδευσης, κλπ.).

Με σκοπό να οριστεί το κατά πόσο έχει επιβαρυνθεί ο υπόγειος υδροφόρας έπειτα από την εντατική καλλιέργεια των εκτάσεων, εκτιμήθηκε η διαχρονική εξέλιξη της χρήσης λιπασμάτων, με βάση τις μέσες απαιτήσεις λίπανσης των καλλιεργειών στην περίοδο μελέτης. Η αντίστοιχη επιβάρυνση των υδάτων της λεκάνης από χημικές παραμέτρους και φυτοφάρμακα, μελετήθηκε από δειγματοληπτικά δεδομένα που συλλέχθηκαν για το έτος 2015. Ο υπόγειος υδροφόρας βρέθηκε επιβαρυνμένος, από λίπανση και φυτοφάρμακα.

Σημαντικό εύρημα αποτελεί η επαναφορά αρκετών παραμέτρων κάτω από τα ανώτατα επιτρεπόμενα όρια, μόνο λόγω της αραίωσης (ή αλλιώς της μη-χρήσης όλου του υδάτινου όγκου που χρησιμοποιείται στην υφιστάμενη κατάσταση), άρα χωρίς σημαντικό κόστος, αντίθετα με αυτά που προβλέπουν άλλες επενδύσεις αποκατάστασης της ποιότητας ΥΣ. Αυτή η ποσοτικοποίηση της θετικής συνεισφοράς της ποσοτικής συνεισφοράς των υδάτων και στην ποιοτική τους κατάσταση, αποτελεί απόδειξη της σημασίας της διαχείρισης της ζήτησης.

Ένα πολύ βασικό μέτρο σύγκρισης για κάθε οικονομικό αποτέλεσμα, είναι ο υπολογισμός της αξίας του νερού στη γεωργία, ένας δείκτης που δηλώνει την αξία του νερού ως ενδιαμέσο αγαθό. Η πτώση αξίας νερού ανά τα χρόνια είναι σημαντική, ως δείγμα ασυνείδητης διαχείρισης και εκμετάλλευσης των διαθέσιμων πόρων.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οποιαδήποτε πρόταση και μεταρρύθμιση παρουσιαστεί, είναι σημαντικό να μπορεί να γίνει αποδεκτή από τους άμεσα ενδιαφερόμενους. Με βάση στοιχεία παλαιότερης έρευνας, οι καλλιεργητές θέτουν ως προτεραιότητα τη λειτουργία ταμιευτήρα, για αύξηση της παραγωγής και όχι τόσο λόγω περιβαλλοντικής συνείδησης.

Με στόχο την ολοκληρωμένη εικόνα υδατικών πόρων, εξετάστηκαν οι λεκάνες απορροής Αλμυρού, Κορώνειας, Λουδία. Βρέθηκε ότι παρόμοια κατάσταση, αντίληψη επικρατεί και σε αυτούς τους υδατικούς πόρους, τονίζοντας την ανάγκη αειφορικής διαχείρισής τους.

Τα πρώτα βήματα που παρουσιάζονται στο παρόν σύστημα, μπορούν να αποτελέσουν χρήσιμη πληροφόρηση και σημείο εκκίνησης για την αλλαγή νοοτροπίας που απαιτείται από την εκάστοτε τοπική διαχείριση, η οποία πλέον καλείται να αντιμετωπίσει σύγχρονα προβλήματα, να εναρμονιστεί με τις επιταγές της ΟΠΥ, και να συμβαδίσει με την επιστημονική και τεχνολογική πρόοδο.

9.2 Προτάσεις

Ο ταμιευτήρας θα έπρεπε να έχει τεθεί σε λειτουργία το 2012, κάτι το οποίο δεν πραγματοποιήθηκε. Η στάση αυτή είναι συνδυασμός αδυναμίας συντονισμού των τοπικών αρχών, ελλιπούς χρηματοδότησης και προσοχής από την Περιφέρεια, αλλά και γενικότερης αντίληψης των αγροτών, καθώς το νερό από τον Πηνειό που προορίζεται για την Κάρλα συνήθως καταναλώνεται πριν φτάσει στον ταμιευτήρα. Όπως προαναφέρθηκε, πολλές φορές υπάρχουν παράνομες γεωτρήσεις χωρίς να καταβάλλεται χρηματικό ποσό για τη χρήση νερού, και μάλιστα μεγάλο ποσοστό αγροτών δηλώνει ότι κατέχει μη καταγεγραμμένες γεωτρήσεις. Για τη διευθέτηση των παραπάνω ζητημάτων προτείνονται ενδεικτικά:

- Υιοθέτηση σύγχρονων μεθόδων οργάνωσης και διοίκησης περιφερειών με εξειδικευμένο προσωπικό και συγκεκριμένη ανάθεση αρμοδιοτήτων.
- Εκσυγχρονισμός μέσω αξιοποίησης νέων τεχνολογικών μέσων, όπως το απλουστευμένο μοντέλο από την παρούσα εργασία, που με την εισαγωγή εξυπηρετούμενων εκτάσεων διαμορφώνει μια γενική εικόνα υδροοικονομικής και ποιοτικής κατάστασης.
- Αποφυγή άσκοπης άρδευσης με βάση τον υπολογισμό των πραγματικών αρδευτικών αναγκών και ενημέρωση των αγροτών μέσω αυτόματου συστήματος, ανάλογα με την υγρασία που καταγράφεται στο έδαφος όπου προτείνεται να γίνει άρδευση ή όχι.
- Επιβολή προστίμων λόγω κατοχής μη καταγεγραμμένων γεωτρήσεων έπειτα από έγκαιρες προειδοποιήσεις.
- Εκπαίδευση αγροτών και εξειδίκευση των παραγωγών σε νέες καλλιέργειες, με χρήση καινοτόμων μεθόδων παραγωγής και αξιοποίηση όλων των απαιτούμενων τεχνολογικών μέσων για την επίτευξη των στόχων τους. Ο ρόλος επιστημόνων και εμπειρογνομόνων, όπως οι γεωπόνοι, είναι πολύ σημαντικός, διότι θα είναι σε θέση να παρέχουν κατάρτιση, καθοδήγηση και λύσεις στους αγρότες.
- Ενημέρωση και ευαισθητοποίηση των κατοίκων της περιοχής μέσα από ένα πρόγραμμα συναντήσεων, ημερίδων, σχολικής εκπαίδευσης περί διαχείρισης νερού.
- Επιλογή των καλλιεργειών βάσει πραγματικών αναγκών σε προϊόντα και όχι βάσει επιδοτήσεων, κονδυλίων και προγραμμάτων ΕΣΠΑ.
- Αξιολόγηση έργων ώστε να είναι πραγματοποιήσιμα, προσαρμοσμένα στις δυνατότητες της χώρας.
- Για την καλύτερη εκμετάλλευση του υδατικού δυναμικού, θα μπορούσε να εξεταστεί η περίπτωση κατασκευής μικρών φραγμάτων ή λιμνοδεξαμενών σε σειρά, που θα διανέμουν ομοιόμορφα στον χρόνο και στην έκταση της λεκάνης, μέρος του νερού των παραπόταμων του Πηνειού. Ειδικά οι λιμνοδεξαμενές, αφενός έχουν μικρό σχετικά απαιτούμενο κόστος κατασκευής και λειτουργίας και αφετέρου δεν αποτελούν σοβαρή περιβαλλοντική παρέμβαση.

Συμπεραίνοντας, οι παραγωγικοί στόχοι θα πρέπει να επιτευχθούν με σωστή και βιώσιμη διαχείριση των υδάτινων πόρων. Έτσι, τα υδροοικονομικά μοντέλα των αγροτικών οικονομιών αρχίζουν να βρίσκουν όλο και περισσότερες εφαρμογές σε θέματα πολιτικής, λήψης αποφάσεων.

Η ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων στην Ελλάδα αποτελεί το βασικό άξονα της οικονομικής και αγροτικής ανάπτυξης. Με βασικό στόχο την αποτελεσματικότητα στη νέα οργανωτική δομή, θα πρέπει, συμπληρωματικά με την οργάνωση που έχει ήδη αναπτυχθεί, να δημιουργηθούν νέοι ευέλικτοι φορείς με κατάλληλα καταρτισμένο

προσωπικό και τεχνογνωσία ώστε να φέρουν σε πέρας επιτυχώς, μαζί με τους υπάρχοντες οργανισμούς, το έργο της διαχείρισης των υδατικών πόρων. Η παρούσα εργασία είχε στόχο τη διευθέτηση της ζήτησης σε σχέση με τη διαθεσιμότητα, με σκοπό τη βιώσιμη ανάπτυξη μέσω της ορθολογικής διαχείρισης νερού. Έτσι, η παρούσα εργασία συνδυάζει υδρολογικούς, οικονομικούς και ποιοτικούς παράγοντες, σε ενιαίο σύστημα προσομοίωσης, καθώς και μια σειρά μέτρων - διαχειριστικών σεναρίων, συνθέτοντας μια ολοκληρωμένη και καινοτόμα προσέγγιση. Τέλος, προβάλλεται η σημασία του εκσυγχρονισμού των καθιερωμένων πρακτικών με τεχνικές βασισμένες στις αρχές της ολοκληρωμένης και βιώσιμης διαχείρισης της ζήτησης των υδατικών πόρων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Alamanos, A., Fafoutis, C., Papaioannou, G., Mylopoulos, N., (2017). Extension of an integrated hydroeconomic model of Lake Karla watershed, under management, climate and pricing scenario analysis, Sixth International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics (CEMEPE), 25-30 June 2017, Thessaloniki, Greece
- Alamanos, A., Latinopoulos, D., Xenarios, S., Tziatzios, G., Mylopoulos, N. & Loukas, A. (2019). Combining hydro-economic and water quality modeling for optimal management of a degraded watershed. *Journal of Hydroinformatics* (accepted for publication)
- Allen, R.G., Pereive, L.S., Raes, D. & Smith, M., (1998). “Crop evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements”, FAO Irrigation & Drainage Paper, No 56, Rome, Italy
- Augoustis, A., Hatzioannou, M., Papadopoulos, S., Kateris, D., Neofytou, C. & Vafidis, D. (2012). Assessing quality of an irrigation canal ecosystem, through water and sediment environmental parameters. A case study in Thessaly region, Greece. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 8(1), pp. 23-32
- Blaney, H.F. & Criddle, W.D. (1962). Determining consumptive use and irrigation water requirements. U. S. Dept. Agr. Agricultural Research Service Tech Bull 1275. 59p
- Chamoglou M., Papadimitriou T. & Kagalou I. 2014 Key-Descriptors for the Functioning of a Mediterranean Reservoir: The Case of the New Lake Karla-Greece. *Environmental Processes*, 1(2),127–135. <https://doi.org/10.1007/s40710-014-0011-0>
- Dastane, N.G. (1974). “Effective Rainfall”, FAO Irrigation and Drainage paper, No. 25, Rome, Italy
- Gibbons D. (1986). “The Economic Value of Water”, Resources for the Future, Washington D.C.
- Hoekstra A., Savenije H. and Chapagain A. (2005). “An integrated approach towards assessing the value of water: A case study on the Zambezi basin”, *Integrated Assessment*, Vol. 2, No.4: 199-208
- Hydromentor (2011-2015). Development of an integrated monitoring system and management of quantity and quality of water resources in agricultural basins under climate change conditions. Application in the basin of Lake Karla
- ICWE (1992). “The Dublin Statement on Water and Sustainable Development”, International Conference on Water and Environment, Dublin, 26–31 January
- Loukas A. (2010). Surface water quantity and quality assessment in Pinios River, Thessaly, Greece, *Desalination* 250 (1), pp. 266-273 doi: 10.1016/j.desal.2009.09.043
- Loukas, A., Vasiliades, L. & Tzabiras J. (2007). Evaluation of climate change on drought impulses in Thessaly, Greece. *European Water* 17(18), pp. 17-28, 2007
- Loukas, A., E. Kolokytha, N. Mylopoulos, L. Vasiliades, A. Mentis and Y. Mylopoulos, (2006). “Policy Options through Water Conservation in Agriculture in the Greater Thessaly Region” 8th International Conference of Protection and Restoration of the Environment, 3- 7 July, Chania

- Malamataris D., Kolokytha E., Mylopoulos I., Loukas A., (2017). “Critical Review of Adaptation Strategies for the Restoration of Lake Koronia”, *European Water* 58, 203-208
- Michaloudi E., Moustaka-Gouni M., Pantelidakis K., Katsiapi M., Genitsaris S., (2012). “Plankton Succession in the Temporary Lake Koronia after Intermittent Dry-Out”, *International Review of Hydrobiology*, 97, 405-419
- Mitraki C., Crisman T. L., Zalidis G., (2004). “Lake Koronia, Greece: Shift from autotrophy to heterotrophy with cultural eutrophication and progressive water-level reduction”, *Limnologica*, 34, 110-116
- Medellín-Azuara, J., Mendoza-Espinosa, L.G., Lund, J.R., Harou, J.J., & Howitt, R.E. (2009). Virtues of simple hydro-economic optimization: Baja California, Mexico. *Journal of Environmental Management* (90): 3470e3478
- Mylopoulos, N., Alamanos, A., Angeli, A. Karkani, E. (2019). Sustainable water resources management through hydro-economic and water quality modeling: Application to Lake Karla watershed, 14th HHA conference, 16-17 May 2019, Volos, Greece
- Rodriguez M., Fernandez F., Correa J., Ferrer E. and Ferrero N. (2002). “Evaluation of Irrigation Projects and Water Resource Management: A Methodological Proposal”, *Sustainable Development*, Vol. 10: 90-102
- Sidiropoulos P., Loukas A. and Georgiadou I. (2016). Response of a degraded coastal aquifer to water resources management scenarios: The case of Almyros aquifer, Magnesia, Central Greece. *European Water*, 55: 67-77
- Spiliotopoulos M., Loukas, A & Mylopoulos, N. (2015). A new remote sensing procedure for the estimation of crop water requirements, 3rd International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment 2015, 16-19 March 2015, Cyprus doi:10.1117/12.2192688
- Tziatzios G, Sidiropoulos P, Vasiliades L, Mylopoulos N, Loukas A. (2015). Simulation of Nitrate Contamination in Lake Karla Aquifer. In *Proceedings of 14th International Conference on Environmental Science and Technology (CEST2015)*, Rhodes, Greece. https://cest2015.gnest.org/papers_raw.html (accessed 8 April 2019).
- USDA Soil Conservation Service (1970). *Irrigation Water Requirements*, Tech, Release No 21 (rev.), 92 p.
- WATECO (2002). “Economics and the Environment: The Implementation challenge of the Water Framework Directive, a Guidance Document”, Working Group 2.6, WATECO.
- WATECO (2003). *Economics and the Environment. The Implementation Challenge of the Water Framework Directive. Accompanying Documents to the Guidance*. European Commission, Brussels
- Young R.A. (1996). “Measuring Economic Benefits for Water Investments and Policies”, *World Bank Technical Paper* No. 338, Washington, D.C
- Zalidis G., and A. Gerakis, (1999). Research Evaluating Sustainability of Watershed Resources Management through Wetland Functional Analysis. *Environmental Management* Vol. 24, No. 2, pp. 193-207
- Ακριτίδης Β., (2019). Αποτίμηση της αξίας του αρδευτικού νερού στη λεκάνη απορροής του Αλμυρού. Διπλωματική εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Αλαμάνος Α., Μπέτσιος Α., (2014). Ζήτηση νερού στην πόλη της Σκιάθου - εναλλακτικά σενάρια πρόβλεψης της μελλοντικής κατανάλωσης. Διπλωματική εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Αλαμάνος Α. (2017). Βιώσιμη Διαχείριση Υδατικών Πόρων στη λεκάνη απορροής της λίμνης Κάρλας: Ανάπτυξη Ολοκληρωμένου Συστήματος Λήψης Αποφάσεων μέσω ενιαίου Υδρο-οικονομικού μοντέλου και Πολυκριτηριακής Ανάλυσης. 5η Ημερίδα Ερευνητικής Δραστηριότητας της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. 17 Μαΐου 2017, Βόλος, Ελλάδα

Αλαμάνος Α. (2019). Ολοκληρωμένο σύστημα υποστήριξης αποφάσεων για τη βιώσιμη διαχείριση υδατικών πόρων, μέσω υδρο-οικονομικής μοντελοποίησης και πολυκριτηριακής ανάλυσης. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Γ.Γ.Δ.Ε./Γ.Δ.Υ.Ε. Διεύθυνση Εγγειοβελτιωτικών Έργων (Δ7), (2010). Σύστημα διαχείρισης νερών, εδαφών και οικοσυστημάτων Κάρλας

Γεωργιάδου (2015). Προσομοίωση και διαχείριση υπόγειου υδροφορέα στη λεκάνη απορροής του Αλμυρού, Μαγνησίας. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ι.Γ.Μ.Ε Διεύθυνση υδρογεωλογίας (Θεσσαλονίκη 2010). Χημικές αναλύσεις υπογείων νερών στο υδατικό διαμέρισμα Θεσσαλίας (08).

Κουτσογιάννης, Δ., Ξανθόπουλος, Θ., (Αθήνα 1999). Τεχνική Υδρολογία, ΕΜΠ.

Κουτσογιάννης, Δ., και Ι. Τσελέντης, (2002). Σχόλιο για τις προοπτικές ανάπτυξης των υδατικών πόρων στην Ελλάδα σε σχέση με την Κοινοτική Οδηγία-Πλαίσιο για το νερό, Οδηγία-πλαίσιο για τα νερά - Εναρμόνιση με την ελληνική πραγματικότητα, Πρακτικά, 87-92, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων.

Λατινόπουλος Δ. (2006). “Εφαρμογή της πολυκριτηριακής ανάλυσης για την οικονομική θεώρηση του νερού στη γεωργία, στο πλαίσιο της αειφορικής διαχείρισης των υδατικών πόρων”, Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο

Μπαλτάς Μ. και Σειμένης Μ. (2010). Η οικονομική αξιολόγηση του νερού στη γεωργία: Εφαρμογή στη λεκάνη απορροής της Κάρλας. Διπλωματική εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μπουζούκης, Β. (2016). Κοινωνικοοικονομική ανάλυση της δυνατότητας χρήσης αυτοματοποιημένης στάγδην άρδευσης στη λεκάνη της λίμνης Κάρλας. Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία για το Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Εφαρμοσμένη Μηχανική και Προσομοίωση Συστημάτων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μυλόπουλος, Ν. (2006). Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Διδακτικές σημειώσεις, Παν. Θεσσαλίας

Παπαζαφειρίου, Ζ.Γ. (1999). Οι ανάγκες των καλλιεργειών σε νερό. Εκδόσεις Ζήτη Θεσσαλονίκη.

Παππάς, Κ. (2017). Αξιολόγηση της ποιότητας των υδάτων στη λεκάνη απορροής της λίμνης Κάρλας. Διπλωματική εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Σιδηρόπουλος Π., (2014). Διαχείριση υπόγειων υδατικών πόρων σε συνθήκες αβεβαιότητας: η αξία της πληροφορίας σε περιβαλλοντικά υποβαθμισμένους υδροφορείς. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Σιδηρόπουλος Π., (2016). Παρουσιάσεις μαθήματος Ύδρευση και Αποχέτευση Οικισμών, Εργαστήριο Υδρολογίας και Ανάλυσης Υδατικών Συστημάτων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τζαφόλια Κ., (2018). Διαχρονική εξέλιξη υδρολογικών, κοινωνικο-οικονομικών παραμέτρων και διερεύνηση σεναρίων υδατικής πολιτικής, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τεκίδης Δ., Μουρατίδης Α., (2018). Χαρτογράφηση της Λίμνης Κορώνειας ως γεωμορφής με τη χρήση χρονοσειράς δορυφορικών εικόνων και ψηφιακών υψομετρικών μοντέλων για την παρακολούθηση του υδάτινου όγκου της σε περιβάλλον GIS.

Τσακίρης Γ., (2001). Διαχείριση Υδατικών Πόρων για την Ειρήνη την Ανάπτυξη και το Περιβάλλον, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο

ΥΠΕΚΑ (2012). Ειδική Γραμματεία Υδάτων, Κατάρτιση Σχεδίων Διαχείρισης των λεκανών απορροής ποταμών των Υδατικών Διαμερισμάτων Θεσσαλίας, Ηπείρου και Δυτικής Στερεάς Ελλάδας, σύμφωνα με τις προδιαγραφές της Οδηγίας 2000/60/EK, κατ' εφαρμογή του Ν. 3199/2003 και του Π.Δ. 51/2007. Παραδοτέο: Οικονομική ανάλυση των χρήσεων ύδατος και προσδιορισμός του υφιστάμενου βαθμού ανάκτησης κόστους για τις υπηρεσίες ύδατος: Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας.

Χατζηλάκου Δ. (2001). “Υδάτινο περιβάλλον και διαχείριση υδατικών πόρων”, Βιώσιμη Ελλάδα και το Μεσογειακό σχέδιο δράσης, Κείμενα Εργασίας του ΕΚΠΑΑ: Εισηγήσεις Ομιλητών στη Συνάντηση Εργασίας του ΕΚΠΑΑ με θέμα “Βιώσιμη Ελλάδα & το Μεσογειακό Σχέδιο Δράσης”, 3.9.2001.

Χουλιαρά Κ., (2014). Διαχρονικές μεταβολές στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον στην περιοχή Αλμυρού Μαγνησίας. Γενεσιουργοί μηχανισμοί εξέλιξης και σχέσεις τους με την αειφορία, Διδακτορική διατριβή, Αθήνα.

<https://www.seametrics.com/blog/water-facts/>

https://www.eea.europa.eu/publications/corporate_document_2008_4

https://en.wikipedia.org/wiki/Think_globally,_act_locally

<http://www.worldwatercouncil.org/en/publications/world-water-council-triennial-report-2000-2003>

<http://www.naturagraeca.com/ws/214,278,204,1,1,%CE%9B%CE%BF%CF%85%CE%B4%CE%AF%CE%B1%CF%82>

<http://wfdver.ypeka.gr/el/>